

Diseño y cálculo de una embarcación sin licencia de 5 m de eslora

Proyecto Final de Grado



Facultat de Nàutica de Barcelona
Universitat Politècnica de Catalunya

Trabajo realizado por:

Daniel Cao Chiew

Dirigido por:

Francisco Daniel Yebra Folgueral

Grado en Ingeniería de Sistemas y Tecnologías Navales

Barcelona, Octubre del 2016

Departamento de Ciencia e Ingeniería Náutica



Resumen

Antiguamente las embarcaciones eran construidas para desempeñar una función determinada, tales como la pesca o el transporte, lejos de la concepción que existe hoy en día sobre la náutica de recreo, que con el paso del tiempo se ha ido formando.

El presente proyecto consiste en el diseño y cálculo de una embarcación de recreo a motor de 5 metros de eslora con capacidad máxima para 6 tripulantes, donde se han orientado los criterios de diseño hacia el chárter.

La razón por el cual se ha escogido el presente tema responde a la reciente normativa sobre el aumento de las atribuciones permitidas para el gobierno de embarcaciones de recreo sin necesidad de título náutico, entrada en vigor el 11 de Octubre del 2014. Aumentando la eslora de 4 m a 5 m y la capacidad de 5 a 6 personas. Y cuya potencia máxima permitida es de 11,26 kW.

Para ello se ha realizado un estudio de mercado para definir las características de la embarcación a diseñar. Y mediante la aplicación de las correspondientes normativas internacionales que regulan el diseño de las embarcaciones de recreo se ha llevado a cabo el presente proyecto.



Abstract

In the past, boats used to be built for specific aims such as fishing or transportation, far from the conception of leisure yachting that nowadays we have, which has been developing over the time.

The present thesis consists in the design and calculation of a 5 m length leisure motor craft with a maximum capacity of 6 passengers, in which “chàrter” purposes have been implemented on the design criteria.

The reason why the present topic has been chosen responds to the updated regulations about naval leisure, being its entry into force on October 11th 2014. By this, certain attributions were increased regarding the craft steering without naval licence. For instance, it implies an overall length increase from 4 to 5 m and an increment of passenger capacity from 5 to 6 people. However, the maximum engine power permission remains constant at 11,26 kW.

In order to achieve the proposed aims, a market research has been held so as to define the future characteristics of the design. Finally, by applying the corresponding international regulations for the design of leisure craft, the present thesis has been carried out.



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Facultat de Nàutica de Barcelona



Índice

1. Introducción.....	1
2. Embarcación sin licencia	2
2.1 Tipos de embarcaciones según el casco.....	2
2.1.1 Monocasco.....	2
2.1.2 Catamarán.....	3
2.1.3 Trimarán.....	4
2.1.4 S.W.A.T.H.....	5
2.2 Estudio de mercado	8
2.3 Comparativa analítica.....	11
2.4 Conclusión.....	21
3. Normativa.....	22
4. Materiales.....	24
5. Diseño.....	29
5.1 Sistema de autovaciado	32
5.2 Escantillonado.....	34
5.3 Desplazamiento.....	39
5.4 Análisis estructural.....	41
5.5 Potencia	44
5.6 Estabilidad.....	51
6. Optimización.....	59
7. Conclusiones.....	65
8. Bibliografía.....	74
9. Anexos.....	76
A. Anexo A: Planos.....	76
I. Plano de distribución de los peneles del casco.....	77
II. Plano de distribución de los paneles del interior.....	78
III. Plano de distribución de los paneles de asientos.....	79
IV. Plano de distribución estructural del casco.....	80
B. Anexo B: Normativas.....	81
C. Anexo C: Cálculo Sistema de autovaciado.....	151
D. Anexo D: Cálculo escantillonado.....	154
E. Anexo E: Cálculo del desplazamiento y posición del centro de gravedad.....	159
F. Anexo F: Cálculo estructural.....	164
G. Anexo G: Cálculo de potencia.....	168
H. Anexo H: Cálculo de la estabilidad.....	172
I. Anexo I: Imágenes renderizadas del diseño.....	177

1. Introducción

El presente trabajo trata sobre el diseño de una embarcación de recreo a motor con las atribuciones propias de una embarcación sin licencia, es decir, sin necesidad de poseer ningún tipo de título náutico para gobernarlo. Y enfocada al charter. El cual se denominará vulgarmente como embarcación de recreo sin licencia de ahora en adelante.

El motivo de este proyecto se debe a la nueva normativa del Ministerio de Fomento (Real Decreto 875/2014, que se detalla más adelante) en el cual aumentan las atribuciones para gobernar dicho tipo de embarcación. Y como objetivo secundario, la orientación de dicho diseño hacia el alquiler.

Como introducción al Real Decreto, a continuación se muestra una tabla comparativa sobre la variación en las atribuciones.

Atribuciones	Antiguo	Nuevo
Eslora	4 m	5 m
Capacidad de pasaje	5 personas	6 personas
Potencia	11,26 KW	11,26 KW

Como se puede apreciar en la tabla, la potencia de la embarcación permanece intacta a pesar de que tanto la eslora como la carga aumentan. Por lo tanto el objetivo del presente proyecto consistirá en conseguir un diseño capaz de albergar con las nuevas atribuciones a la par que mantener en la medida de lo posible, con las prestaciones de una embarcación de menor tamaño y carga.

2. Embarcación sin licencia

Para entender que es una embarcación de recreo sin licencia, y dotar este de un aspecto legal, se recurre a las normativas del Ministerio de Fomento el cual se detallaran en profundidad en el *Capítulo 3* todas aquellas normativas y reglamentos que puedan influir en el presente proyecto.

Como introducción rápida, en el siguiente apartado se detalla de forma superficial los puntos del Real Decreto 875/2014, de 10 de Octubre, que describen a la embarcación la cual se pretende diseñar.

- *Una embarcación de recreo es toda embarcación de cualquier tipo, con independencia de su medio de propulsión, cuyo casco tenga una eslora (L_H) comprendida entre 2,5 y 24 metros, medida según los criterios fijados en el mismo Real Decreto, utilizada para fines deportivos o de recreo.*
- *Para el gobierno de embarcaciones a motor con una potencia máxima de 11,26 kilovatios y hasta 5 metros de eslora, no será preciso estar en posesión de las titulaciones reguladas en este real decreto, siempre que no se alejen más de 2 millas náuticas de un puerto, marina o lugar de abrigo y la actividad se realice en régimen de navegación diurna.*

Conocido, los límites (jurídicos) a los que está sometido el diseño y conociendo ya de antemano, la eslora y potencia propulsora máxima, es necesario entonces, conocer los factores que influyen al avance de este para finalmente hallar con el diseño más óptimo posible según unas condiciones determinadas.

Como análisis preliminar, se reconocen los siguientes puntos como los generales:

1. Forma del casco
2. Desplazamiento
3. Propulsión.

Donde cada punto a su vez se puede desglosar en una serie de sub-apartados más particulares y simples de manejar.

Empezando con el diseño del casco en lo que su “forma” se refiere, para determinarlo, lo más sencillo es realizar un estudio sobre diseños ya existentes.

2.1 Tipos de embarcaciones según el casco

A continuación se realiza un estudio sobre los tipos de embarcaciones existentes según la morfología del casco y así tratar de hallar la más adecuada a las necesidades del proyecto.

2.1.1 Monocasco

El monocasco es el diseño más común y abundante, tanto en motoras como veleros y como su propio nombre indica, el casco consta de un único cuerpo del cual depende la flotabilidad y en mayor o menor medida la navegabilidad y la gobernabilidad.

Dentro de los monocascos, existen una gran variedad de diseños. Según el cometido de la embarcación sus formas variarán de una u otra forma con el objetivo de acentuar la/s característica/s que más interese/n. Por ejemplo, si interesa una embarcación con la mayor

capacidad de carga posible dada una eslora determinada, el diseño del casco pasará a ser más “panzudo”, el cual conlleva pasar la velocidad y maniobrabilidad en segundo plano. No obstante, y aunque es posible llegar a un equilibrio entre las características del monocasco en el que el diseñador o armador pueda quedar conforme, también es un inconveniente puesto que, a diferencia de otros tipos de casco, variar un parámetro en el monocasco afecta en mayor medida a su antónimo. Es decir, la influencia que tienen ciertos parámetros sobre otros (y viceversa) es mayor en el monocasco con respecto a otros tipos de casco.



Imagen 1. Monocasco a motor de recreo sin licencia. Compass GT de 4 m.

2.1.2 Catamarán

Embarcación que se caracteriza por poseer dos cascos separados y unidos por una plataforma generalmente siendo esta la cubierta. El primer catamarán del que se tiene constancia histórica se remonta en la era romana durante la segunda guerra púnica, entre Roma y Cartago en el año 218 a.C.

La palabra catamarán es una evolución de “kattoo maram”, término que utilizaba la tribu Maori de Nueva Zelanda que significa “troncos unidos”.

El potencial de las embarcaciones tipo catamarán no fue debidamente reconocido hasta entrada la segunda mitad del siglo XX. Donde los avances en los conocimientos de este tipo de embarcación dotaron a los catamaranes de un aumento de velocidad y capacidad, así como una notable mejora en la navegabilidad y confort que combinados con un coste más bajo, se convirtió en requisitos ya, inherentes en cuanto a la concepción de catamaranes. Llegando a competir con embarcaciones tipo monocasco.

Y actualmente ya es un hecho generalizado que los catamaranes se caractericen por su estabilidad. Y como la flotabilidad está repartida entre dos cascos, estos pueden tener formas más esbeltas sin repercutir de forma tan directa como el monocasco en la capacidad de carga. Puesto que hay mayor libertad de diseño.

No obstante, y aunque (en embarcaciones convencionales) puede llegar a ser ligeramente más veloz que un monocasco de misma eslora, también puede no serlo, pues dicha ventaja con respecto al monocasco ocurre para un rango de velocidades determinado, en el que el diseño de la embarcación del presente proyecto puede no encontrarse en él.

Por último y no menos importante, la propulsión de un catamarán suele estar repartida entre los dos cascos, es decir, la maniobrabilidad tanto dentro de puerto como en espacios angostos es mejor, puesto que necesita menos espacio de maniobra para realizar la ciaboga.

Característica propia de las embarcaciones con dos hélices, tanto de catamaranes como monocascos de doble hélice, pero el efecto es mayor en los catamaranes puesto que hay mayor distancia entre los ejes de la hélice.



Imagen 2. Catamarán de vela de recreo de lista 6a.

2.1.3 Trimarán

Embarcación que consta de tres cuerpos flotantes, unidos por una estructura transversal, que generalmente es la cubierta, como en el caso del catamarán ya mencionado.

El casco central es el cuerpo principal donde recae el mayor porcentaje de la flotabilidad y habitabilidad. Mientras que el resto queda repartido entre los cascos laterales denominados flotadores que dotan al trimarán de la estabilidad de la cual se caracteriza.

El origen del trimarán tiene lugar en las islas del Pacífico donde los indígenas Polinesios (entre otros isleños del Pacífico) fueron los primeros en construirlos.

El trimarán moderno (de vela) no se empezó a desarrollar hasta en la mitad del siglo XX, aproximadamente a partir del año 1945.

Un trimarán de misma eslora que un monocasco suele ser más ligero y además más veloz puesto que tiene menos volumen bajo el agua. Es decir menos fricción. Sin embargo, necesitan más espacio de maniobra debido a los flotadores.

Por otro lado, en cuanto a la habitabilidad se refiere, el casco central del trimarán ofrece menos espacio frente a un monocasco, siempre y cuando se obvie las superestructuras que se puedan levantar por encima de la cubierta.



Imagen 3. Trimarán a vela de competición, clase ORMA 60.

2.1.4 S.W.A.T.H.

Se hace especial mención a este tipo de embarcación puesto que se ha tenido especial consideración y que a lo largo de éste capítulo se irá detallando más.

La embarcación tipo SWATH surgió durante el siglo XIX, su nombre está conformado por siglas de los vocablos en inglés, “Small Waterplane Area Twin Hull” que significa “Acuaplano de doble casco y área pequeña” caracterizadas por tener una menor superficie de carena que un monocasco.

Estas embarcaciones fueron concebidas con fines bélicos donde el ejército de la marina Americana intentó diseñar uno cuyo principal propósito fuera el transporte de carga militar “rápida”, aunque el proyecto fue finalmente cancelado con tan solo unas pocas secciones construidas.

Las embarcaciones tipo SWATH, en adelante referidas como solo SWATH, es una tipología o subcategoría de catamarán donde los cascos en los que se apoya la estructura tienen una morfología determinada. Cada una consta de una estructura llamada flotador (en inglés, gondola) con forma de torpedo y de otra estructura llamada arbotante (en inglés, strut) que hace la función de pilar o columna y une el flotador con la cubierta principal tal y como se puede apreciar en la imagen.



Imagen 4. De nombre Wielingen, es un tender tipo SWATH de 25 m del astillero Abeking & Rasmussen

La inspiración para esta peculiar forma recae en los submarinos, estructuras que navegan a una profundidad tal que el flujo en vez de ser turbulento, es laminar, el cual comporta una reducción considerable en la resistencia al avance. Los SWATH fueron concebidos para que los flotadores naveguen en dicho régimen laminar, por eso se les conoce por tener mayor calado con respecto a otras embarcaciones.

Los SWATH se caracterizan por:

- Mantener la velocidad de avance frente a mala mar, o lo que es lo mismo, tener pocas pérdidas de velocidad.
- Los movimientos de virada, cabeceo y escora son más “gentiles” que el de un monocasco, ello supone un mayor confort para la tripulación en cuanto a su desgaste físico.
- Mayor confort en cuanto a estancia, puesto que las vibraciones son considerablemente menores al tener los motores de propulsión en los flotadores (recuerde que los flotadores se encuentran bajo la superficie del agua). Este hecho también supone un aumento de espacio útil en cubierta.
- Tienen una tonelada de inmersión por centímetro muy baja. Significa que cualquier variación de peso (fuera de lo previsto) a lo largo de la cubierta puede causar una escora significativa.
- A mismo desplazamiento que un monocasco, los SWATH son más cortos, dicho de otra manera, el metro de eslora en un SWATH es más pesado comparado con el de un monocasco debido a que los SWATH demandan mayor estructura de refuerzo.
- Necesitan de apéndices (ya sea fijo o móvil) que generen la sustentación hidrodinámica necesaria para elevar la bañera por encima del nivel del agua a la par que mantener los flotadores en una profundidad de flujo laminar. Y así reducir la resistencia al avance al mínimo.
- La maniobrabilidad dentro de puerto es como la de un catamarán.
- Puesto que la flotabilidad recae en los flotadores y los arbotantes, especialmente cuando el SWATH se encuentra en movimiento, en caso de afrontar condiciones adversas, aún queda el volumen del cuerpo central como (gran) reserva de flotabilidad.

Por lo tanto, los SWATH son una interesante opción a considerar, sobre todo por el confort que puede ofrecer a la tripulación, el cual coge un peso importante si se considera que las personas que gobiernan embarcaciones de recreo sin licencia son gente poco acostumbrada a la mar y a sus movimientos, el cual muchas veces deriva al mareo.

No obstante, en la actualidad los SWATH son empleados mayormente al apoyo logístico y reabastecimiento de las plataformas offshore, especialmente en las aguas nórdicas de Europa donde la mar se caracteriza por ser embravecida.



Imagen 5. Wandelaar, tender tipo SWATH de 60 m del astillero Abeking & Rasmussen



Imagen 6. Ejemplo de ilustración de la carena de un SWATH

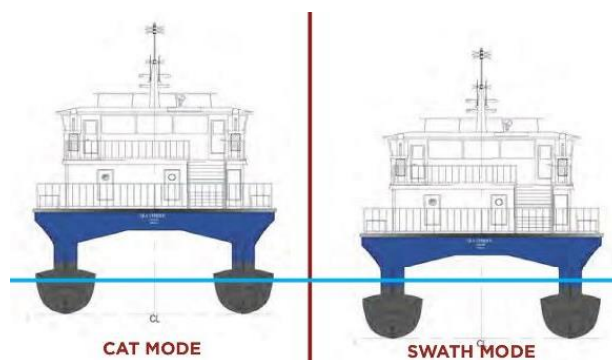


Imagen 7. Ilustración del modo catamarán y SWATH en función del lastre

2.2 Estudio de mercado

Para seguir con el estudio del diseño del casco, es necesario conocer más datos además de la eslora y la potencia, por lo tanto se procede a realizar un estudio de mercado para embarcaciones, de los cuales se pueden diferenciar dos tipos:

- Embarcaciones consideradas por la ley anterior como embarcación de recreo sin licencia.
- Embarcaciones consideradas por la ley actual y vigente como embarcación de recreo sin licencia.

Por lo tanto la eslora oscila entre los 4 y 5 metros. El perfil de las embarcaciones escogidas tiene en común que son embarcaciones con propulsión fueraborda y de cubierta abierta, es decir que no tienen ninguna superestructura rígida. Puesto que la intención es diseñar una embarcación sin licencia orientada al chárter. Por lo tanto interesa una embarcación sencilla, robusta y fácil de mantener cuyo motor sea fácilmente accesible y atractivo para alquilar, donde los pasajeros puedan disfrutar del mar.

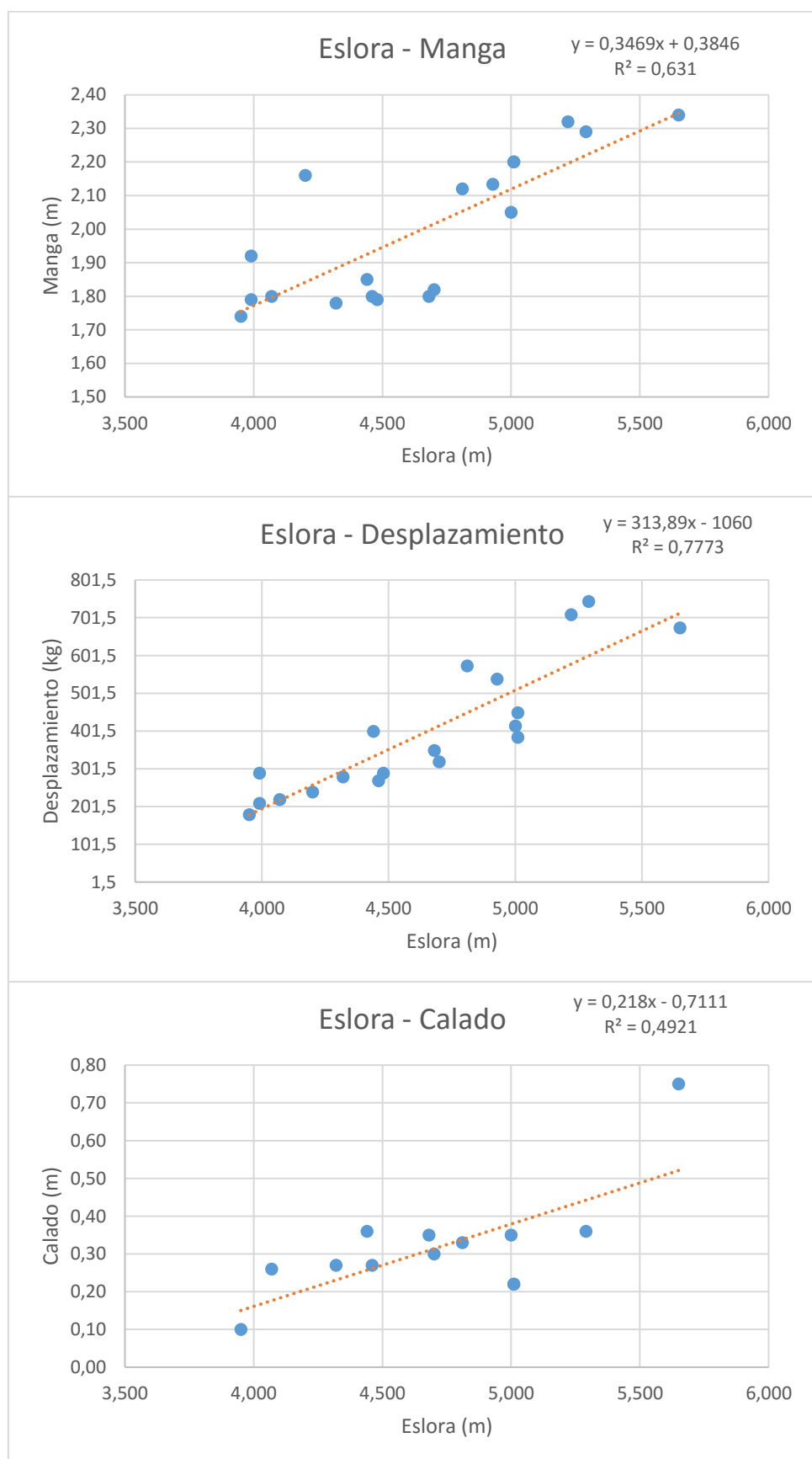
Tabla 1: Estudio de mercado.

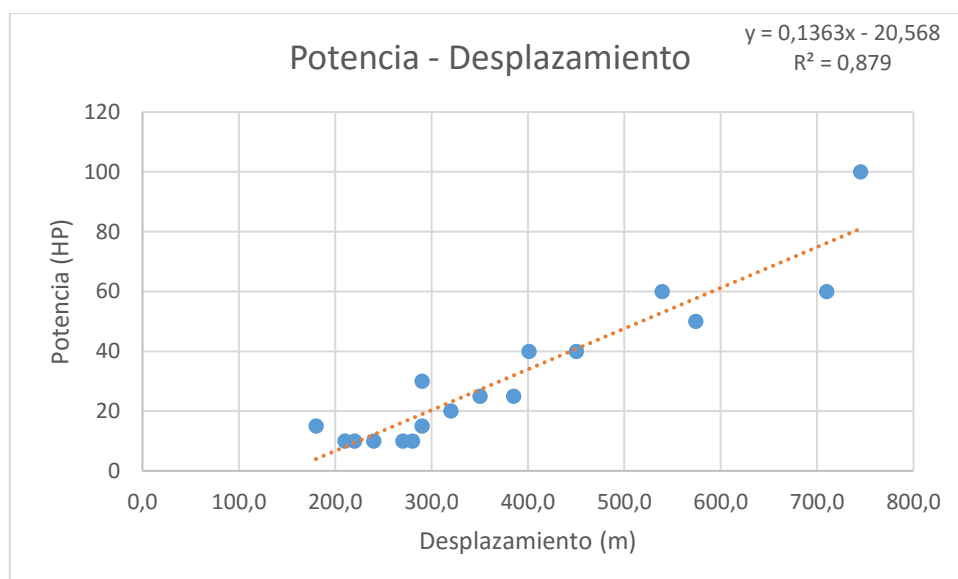
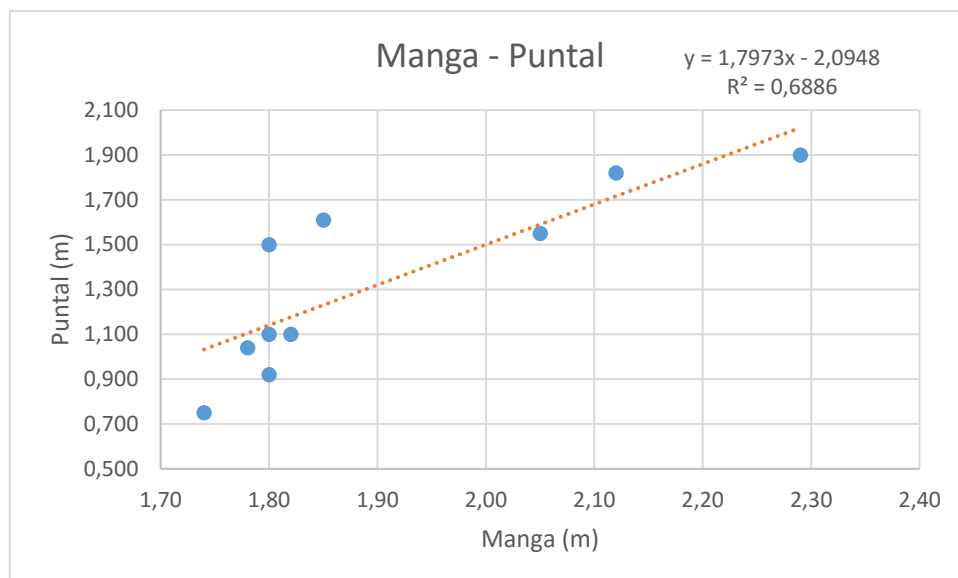
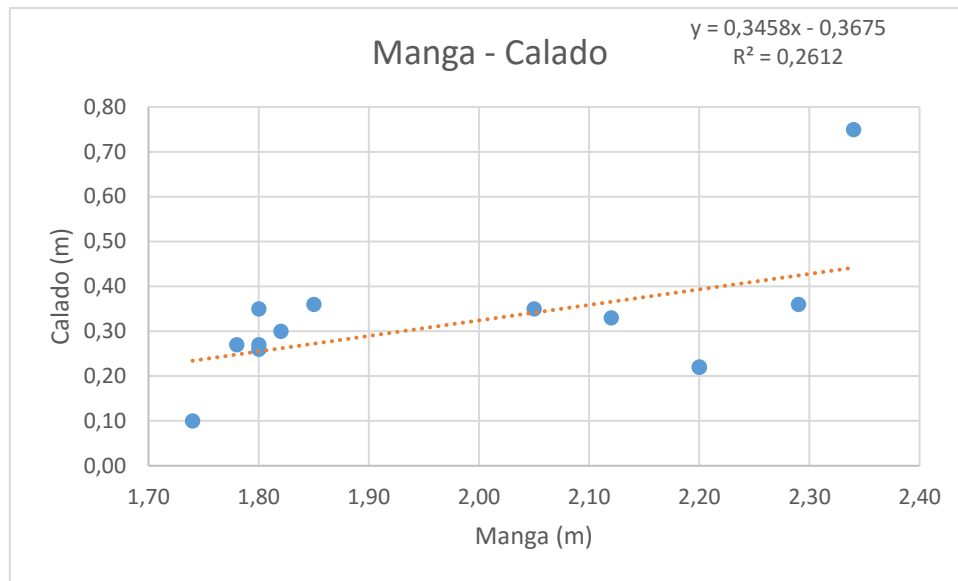
Embarcación	L (m)	B (m)	D (m)	T (m)	Δ (Kg)	P _{min} (HP)
Compass 400GT	4,070	1,80	0,920	0,26	220,0	10
Compass 440 GT	4,460	1,80	1,100	0,27	270,0	10
Compass 470 GT	4,700	1,82	1,100	0,30	320,0	20
Compass 156 CC	4,680	1,80	1,500	0,35	350,0	25
Quicksilver 500 Fish	5,000	2,05	1,550	0,35	415,0	-
Quicksilver Activ 555 Open	5,290	2,29	1,900	0,36	745,0	100
Quicksilver Activ 505 Open	4,810	2,12	1,820	0,33	574,0	50
Quicksilver Activ 455 Open	4,440	1,85	1,610	0,36	401,0	40
Quicksilver 440 Fish	4,320	1,78	1,040	0,27	280,0	10
Key largo one	5,650	2,34	-	0,75	675,0	-
Bond Yacht 13	3,950	1,74	0,750	0,10	180,0	15
Estable 500 Cabinada	5,010	2,20	-	0,22	450,0	40
Estable 500 Consola	5,010	2,20	-	0,22	385,0	25
Estable 415 Consola	4,200	2,16	-	-	240,0	10
Estable 400 Consola	3,990	1,92	-	-	210,0	10
Fiber 400	3,990	1,79	-	-	290,0	15
Fiber 450	4,480	1,79	-	-	290,0	30
Fiber 450 open	5,220	2,32	-	-	710,0	60
Bayliner Element	4,928	2,13	-	-	539,1	60
L: Eslora del casco; B: Manga; D: Puntal; T: Calado; Δ: Desplazamiento; P _{min} : potencia mínima recomendada						

De los datos expuestos salta a la vista la diferencia de potencia entre las embarcaciones consideradas por la ley anterior como embarcación sin licencia y las que no lo eran en ese momento. Por lo tanto sabiendo que las embarcaciones de más de 4 metros podían tener una potencia mayor a 11,26 kW, se puede deducir que el armador o diseñador no dio la misma importancia al desplazamiento que el armador o diseñador de la embarcación sin licencia de 4 metros y 11,26 kW de potencia. Por lo tanto los resultados obtenidos pueden verse afectados por este hecho.

Toda la información se ha extraído de los catálogos que cada astillero tiene disponible en sus páginas web correspondientes. De los cuales, en algunos modelos no ha sido posible obtener algunos datos, como se puede apreciar en la tabla. No obstante, no se considera la falta de datos

como un factor de gran influencia de cara al análisis, por lo tanto se decide continuar, obteniendo así las siguientes regresiones lineales.





Finalmente con los resultados obtenidos de las diferentes regresiones lineales se obtiene las dimensiones con las que se empezará el proceso de diseño. Se dan como válidas aquellas regresiones cuyo factor de regresión, R sea superior a 0,7.

$$R \geq 0,7$$

De esta forma, queda excluida la gráfica que relaciona *Manga – Calado* por tener un factor $R = 0,511$.

Relacionando las diferentes ecuaciones lineales dadas por válidas se obtienen los siguientes resultados, a partir de la introducción de una eslora de 5 m.

Tabla 2

L	5,00	m
B	2,12	m
D	1,71	m
T	0,38	m
Δ	509,45	Kg
P_{min}	48,87	HP

Acorde con el estudio de mercado, una embarcación de 5 m de eslora necesita una potencia de 48,87 HP, que son 36,44 kW. El cual dista de los 11,26 kW permitidos por las normativas de la DGMM para embarcaciones de recreo sin licencia.

Por otro lado, según la regresión lineal que relaciona la *Potencia - Desplazamiento*, una embarcación de 11,26 kW tiene un desplazamiento de:

Tabla 3

P_{min} (kW)	Δ (kg)
11,26	261,67

Existe una diferencia de desplazamiento de 247,76 kg entre los dos casos. Todo indica que hay que realizar optimizaciones en el desplazamiento si se desea conservar el rendimiento de una embarcación de 4 m de eslora, a la par que intentando aproximarse a las dimensiones obtenidas para una embarcación de 5 m.

2.3 Comparativa analítica

En este apartado se decide comparar las propiedades de navegabilidad del monocasco, catamarán y embarcación tipo SWATH. Para ello, se han diseñado dos modelos de cada tipología. De acuerdo con los resultados obtenidos del estudio de mercado, se toman las dimensiones de la eslora, desplazamiento y calado como referencia. Tratando de ajustar cada modelo con estas condiciones.

Con el objetivo de comparar dichas embarcaciones en cuanto a estabilidad (transversal) y resistencia al avance en dos condiciones de carga, peso en rosca (es decir, según el estudio realizado) y con desplazamiento máximo* (es decir, con el máximo de pasajeros), dentro de un rango de velocidades determinado.

*Según la ISO 14946:2001 se considera 75 Kg como el peso de una persona adulta. Y como el pasaje máximo es de 6, se considerará el desplazamiento máximo como la suma de los pesos de los 6 pasajeros más el desplazamiento en rosca.

Para realizar dicha tarea se recurre al programa de cálculo y diseño, *Maxsurf Modeler*.

Puesto que esta es una etapa de diseño preliminar, hay que aclarar que el modelado de cada diseño, se ha realizado de forma superficial sin seguir ningún criterio concreto más allá que la del autor. Por eso se ha decidido realizar dos diseños para cada tipo de casco. Para esta forma poder extraer del análisis unas conclusiones más definidas.

Por razones de funcionalidad, se ha prescindido del modelo trimarán para este estudio analítico. Como el objetivo es diseñar una embarcación de recreo alquilable para un público sin experiencia en el gobierno de embarcaciones náuticas, se ha decidido que el trimarán no es compatible con el perfil que se pretende. Porque:

- No puede proporcionar una bañera tan amplia como el resto de tipos de cascos expuestos.
- Debido a sus flotadores laterales, el espacio de maniobra es mayor. Hecho considerablemente negativo, pues puede llegar a ser peligroso durante las maniobras dentro de puerto, sobre todo para gente inexperta.

A continuación se muestran imágenes de los diferentes modelos diseñados y sus características.

- Monocasco

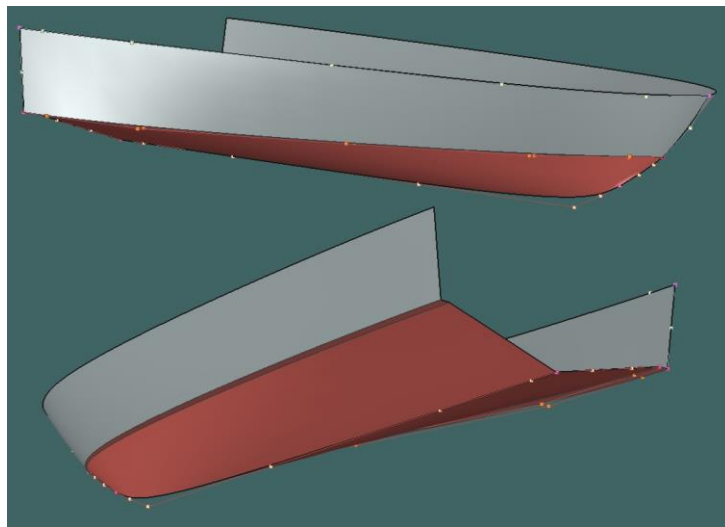


Imagen 8. Monocasco1

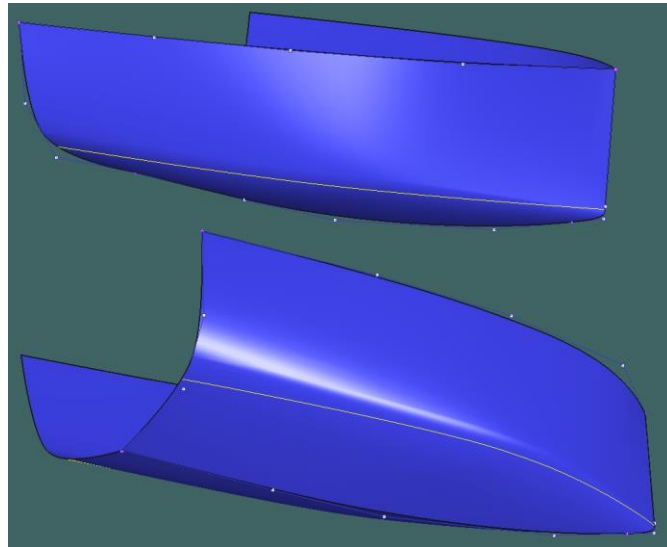


Imagen 9. Monocasco2

- Catamarán

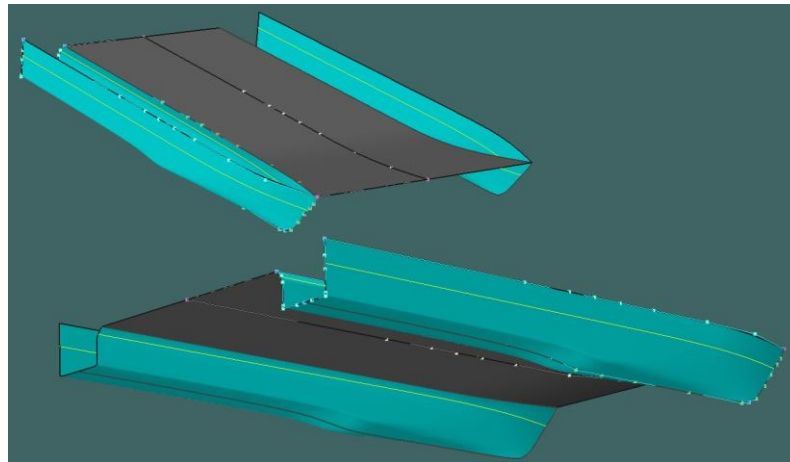


Imagen 10. Catamarán1

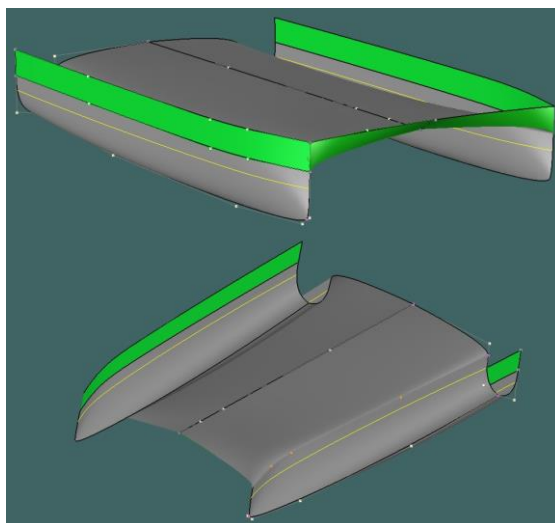


Imagen 11. Catamarán2

- SWATH

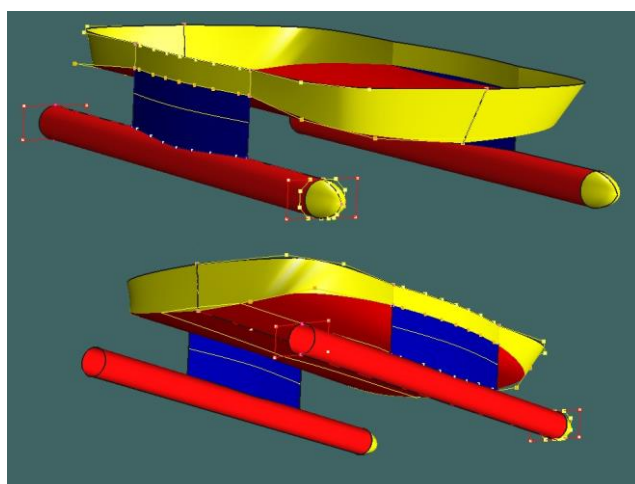


Imagen 12. SWATH1

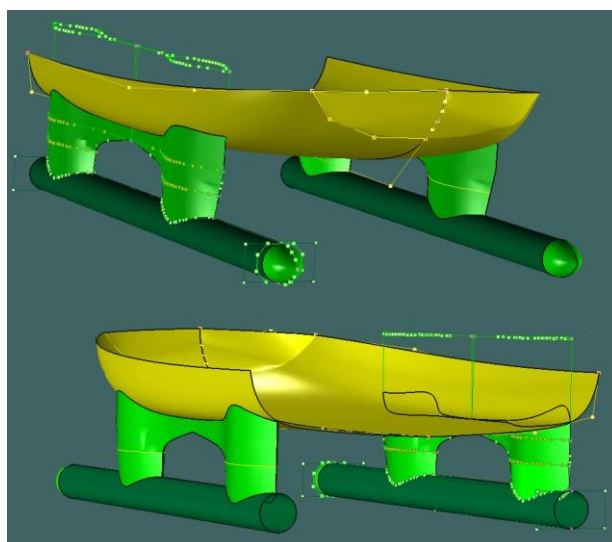


Imagen 13. SWATH2

Tabla de características:

Donde aparte de las dimensiones principales (eslora, manga y puntal del casco) también se muestran los casos de desplazamiento en rosca y desplazamiento máximo con su correspondiente calado.

Tabla 4. Características de los modelos.

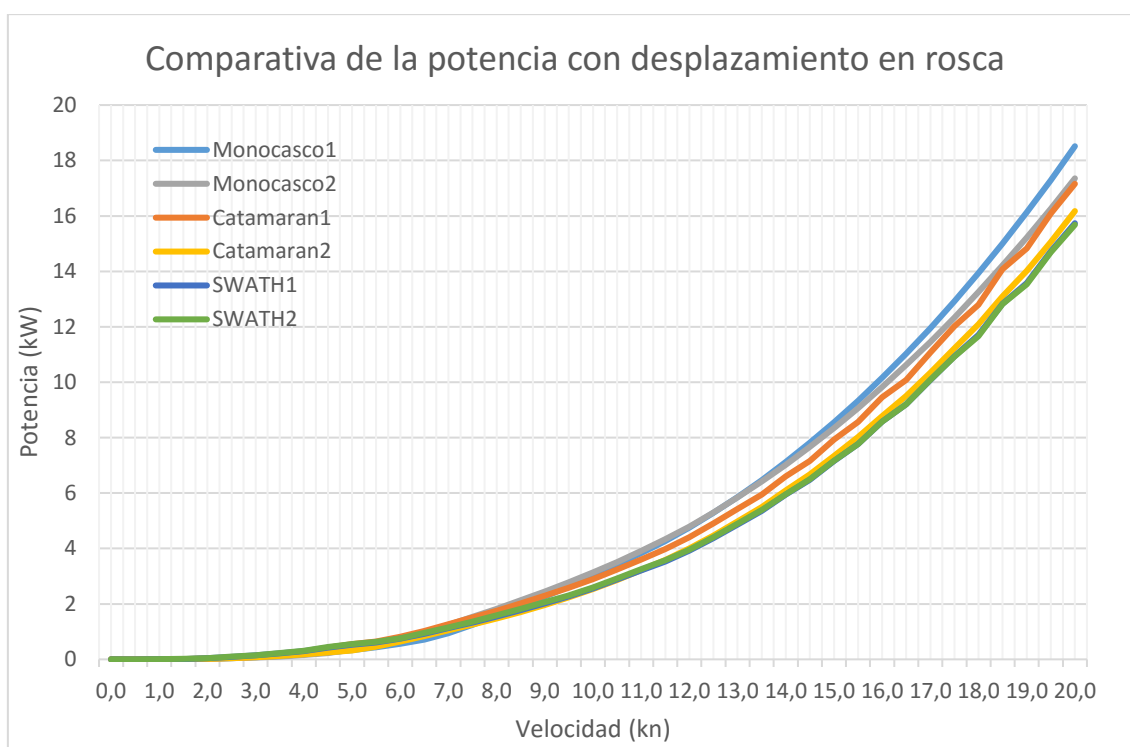
Embarcación	L_H (m)	B_H (m)	T (m)	Δ rosca (kg)	D en rosca (m)	Δ máxima (kg)	D máxima (m)
Monocasco1	5,000	2,000	0,820	508,1	0,214	963,8	0,299
Monocasco2	5,000	2,200	1,224	502,3	0,231	956,5	0,315
Catamarán1	5,000	2,936	0,500	507,3	0,207	965,4	0,326
Catamarán2	5,000	2,963	0,800	506,5	0,250	959,8	0,371

SWATH1	4,967	2,682	0,741	506,3	0,205	959,2	0,582
SWATH2	4,878	3,103	0,806	500,8	0,200	956,9	0,780

En el caso de los modelos monocasco1 y catamarán1, dicho diseño se ha obtenido de los modelos que el propio programa *Maxsurf* contiene por defecto, en el cual se han modificado las dimensiones y el calado para adecuarlas al estudio y los parámetros adimensionales tales como el C_B (coeficiente de bloque) o C_P (coeficiente prismático). Los demás modelos se han modelado desde cero.

Una vez obtenidos los modelos, mediante los programas *Maxsurf Stability* y *Maxsurf Resistance*, se han obtenido los valores del brazo adrizante GZ para el rango de 0 a 180 grados y los valores de la potencia propulsora necesaria para los rangos de 0 a 20 nudos respectivamente. Cabe aclarar que los resultados obtenidos de este estudio distan mucho de la realidad, pues no se tienen en cuenta factores como el oleaje, el viento y la interacción que pueda haber entre otros muchos factores. Pero como todos los modelos se someterán bajo las mismas condiciones, ello servirá para un análisis comparativo preliminar.

Gráfica comparativa de la potencia de propulsión en condición de desplazamiento en rosca



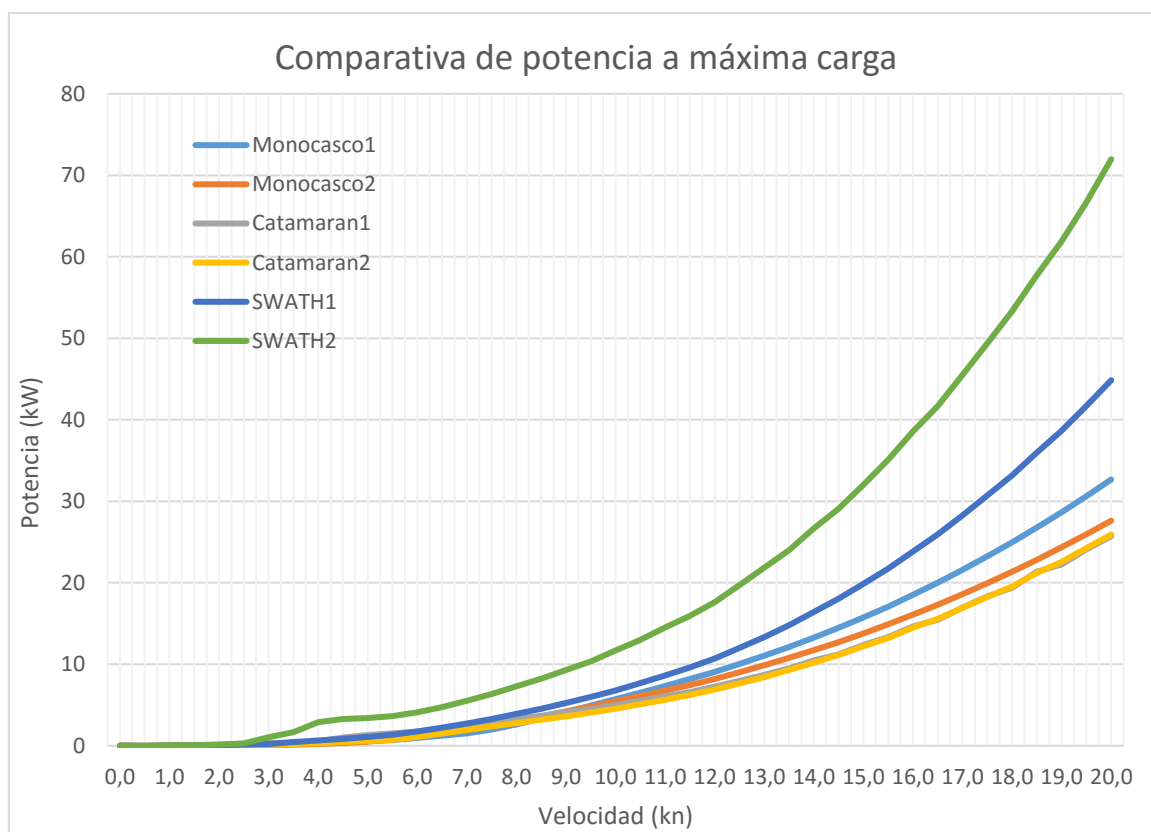
En esta gráfica, se puede apreciar como a medida que aumenta la velocidad, se distingue mejor el trazado de cada curva, donde a 20 nudos y por orden de mayor resistencia (o potencia de propulsión) a menor, se sitúan: Monocasco1, Monocasco2, Catamarán1, Catamarán2 y finalmente los SWATH en el que tanto el modelo 1 como el 2 tienen valores muy cercanos.

No obstante, en un escenario más realista, una embarcación de recreo monocasco de 11,26 kW de estas características no suele superar los 7 nudos. Por lo tanto centrándonos en el rango de velocidades de 0 a 10 nudos, las diferencias son las siguientes:

Tabla 5.

v (Kn)	Monocasco1	Monocasco2	Catamaran1	Catamaran2	SWATH1	SWATH2
0,0	0	0	0	0	0	0
0,5	0,001	0	0,001	0,001	0,001	0,001
1,0	0,004	0,003	0,004	0,004	0,004	0,004
1,5	0,011	0,01	0,012	0,011	0,013	0,015
2,0	0,025	0,022	0,027	0,025	0,042	0,047
2,5	0,047	0,041	0,052	0,048	0,089	0,098
3,0	0,078	0,069	0,092	0,08	0,142	0,151
3,5	0,122	0,105	0,148	0,123	0,219	0,23
4,0	0,178	0,156	0,215	0,178	0,295	0,31
4,5	0,253	0,224	0,425	0,247	0,422	0,441
5,0	0,334	0,353	0,552	0,323	0,527	0,553
5,5	0,44	0,524	0,648	0,456	0,608	0,629
6,0	0,557	0,727	0,811	0,639	0,744	0,763
6,5	0,716	0,971	1,029	0,84	0,925	0,95
7,0	0,948	1,242	1,265	1,046	1,128	1,156
7,5	1,24	1,529	1,508	1,255	1,326	1,359
8,0	1,567	1,824	1,757	1,476	1,549	1,587
8,5	1,91	2,129	2,018	1,71	1,776	1,819
9,0	2,264	2,447	2,29	1,964	2,023	2,064
9,5	2,63	2,781	2,581	2,239	2,273	2,312
10,0	3,009	3,135	2,897	2,538	2,556	2,593

Gràfica comparativa de la potencia de propulsi3n en condici3n de desplazamiento a m3xima carga:



Para esta gráfica, los modelos SWATH son los que tienen peor rendimiento, donde destaca la curva verde, correspondiente a la del modelo SWATH2, donde claramente demanda cada vez más potencia por incremento de velocidad. En cuanto a los modelos restantes, a 20 nudos se puede apreciar como los cascos tipo catamarán (gris y amarillo) tienen mejor rendimiento que los monocasos (azul flojo y naranja).

No obstante, y fijándose una vez más en el rango de velocidades de hasta 10 nudos:

Tabla 6.

v (kn)	Monocasco1	Monocasco2	Catamaran1	Catamaran2	SWATH1	SWATH2
0,0	0	0	0	0	0	0
0,5	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,003
1,0	0,005	0,005	0,015	0,006	0,011	0,018
1,5	0,017	0,014	0,066	0,017	0,034	0,054
2,0	0,039	0,032	0,131	0,039	0,075	0,123
2,5	0,074	0,059	0,199	0,075	0,139	0,303
3,0	0,128	0,099	0,323	0,13	0,235	1,062
3,5	0,203	0,155	0,396	0,212	0,437	1,692
4,0	0,293	0,232	0,536	0,3	0,658	2,882
4,5	0,417	0,341	0,992	0,46	0,843	3,291
5,0	0,561	0,509	1,324	0,556	1,066	3,403
5,5	0,71	0,829	1,506	0,738	1,349	3,627
6,0	0,961	1,164	1,763	1,088	1,735	4,093
6,5	1,224	1,501	2,112	1,519	2,206	4,75
7,0	1,536	1,922	2,494	1,954	2,731	5,522
7,5	2,002	2,437	2,867	2,37	3,295	6,341
8,0	2,625	3,008	3,267	2,776	3,895	7,282
8,5	3,351	3,604	3,683	3,188	4,537	8,244
9,0	4,124	4,211	4,13	3,612	5,232	9,292
9,5	4,915	4,824	4,517	4,061	5,979	10,369
10,0	5,71	5,45	4,981	4,547	6,786	11,689

En cuanto a la estabilidad transversal, primero hay que entender que el brazo adrizante conocido en teoría del buque como el brazo GZ, es una distancia conceptual utilizada para cuantificar la estabilidad de una embarcación. Donde esta varía según el grado de escora y el volumen sumergido en cada momento.

Esta distancia comprende entre los puntos correspondientes al centro de gravedad G, de la embarcación y el punto Z.

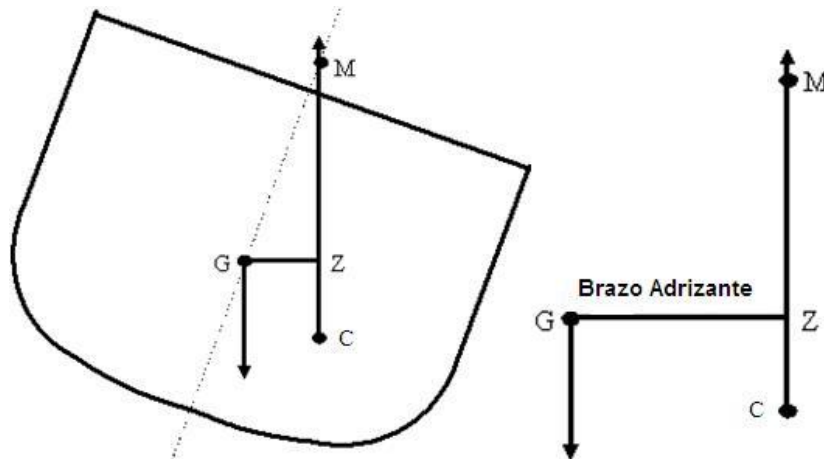


Imagen 14. Ilustración teoría del buque sobre la estabilidad transversal

Como se puede apreciar en la imagen, el punto Z es el punto resultante de la intersección entre la línea vertical MC y la línea horizontal que pasa por G. Siendo C el centro de carenas o el centro de gravedad del volumen sumergido por donde actúa la fuerza de empuje y M el metacentro, punto resultante de la intersección entre el plano de crujía con la línea vertical (empuje) que pasa por C

Cuanto mayor sea la distancia GZ, mayor par adrizante, el cual es bueno desde el punto de vista de la estabilidad. No obstante puede conllevar a un adrizamiento brusco de la embarcación y por lo tanto afectar al confort.

Las gráficas que se estudiarán a continuación, presentan el siguiente patrón:

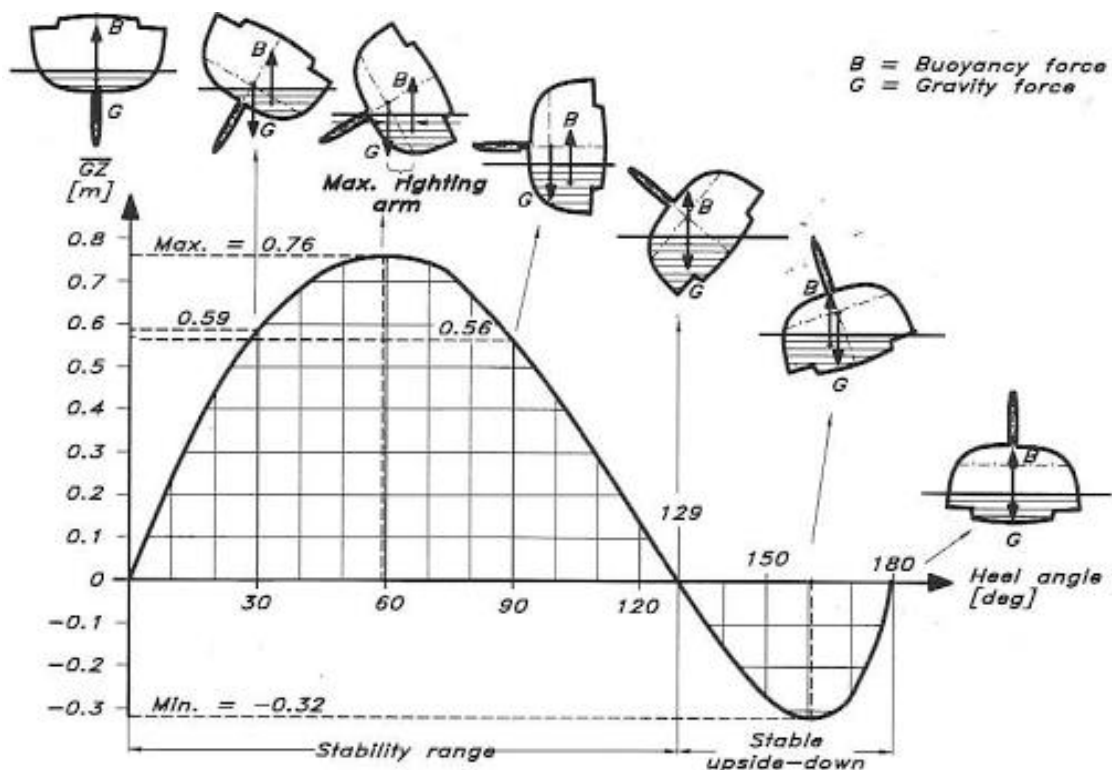


Imagen 15. Imagen de Principle of yacht design de Larsson y Eliasson

Donde se puede apreciar que una embarcación aún sobrepasado el grado de escora de 90°, aún puede permanecer positivamente estable (GZ positivo) pero decreciente, hasta llegar a 0.

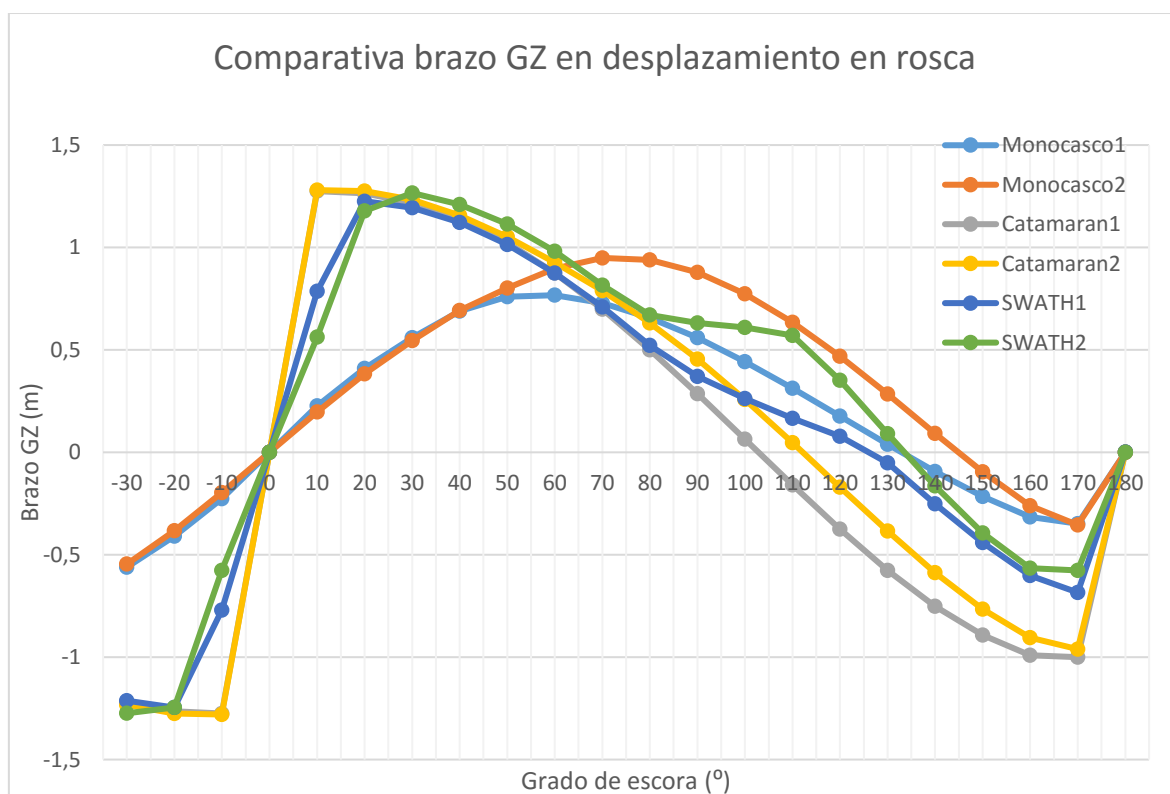
Cuando se llega a 0, significa que la embarcación vuelve estar en equilibrio y que tanto el vector de desplazamiento como el de empuje se encuentran alineados, tal y como se ilustra en la imagen con una escora de 129°.

Pasado el 0 se entra en un umbral donde el par de fuerzas que conforman el vector del desplazamiento junto con el vector del empuje favorecen al momento de escora y facilita el vuelco. Por lo tanto, el área que queda entre el eje de las abscisas y la curva bajo esta, es la energía necesaria para adrizar la embarcación de nuevo, de la misma forma que el área por encima del eje de abscisas es la energía necesaria para escorar. También se puede interpretar como la energía que tiene la embarcación para hacer frente los agentes externos que provoquen la escora, tales como el viento y/o las olas.

Es por ello que en situaciones adversas, donde una embarcación haya escorado hasta una GZ negativo, interesa que su curva de adrizamiento GZ bajo las abscisas tenga la menor área posible, para que el adrizamiento sea más fácil y requiera menos esfuerzo.

A continuación se muestran los datos obtenidos sobre la estabilidad transversal de los diferentes modelos

Gráfica comparativa de la estabilidad transversal de los modelos con desplazamiento en rosca:



En esta gráfica llama la atención como en los multicascos, el pico de brazo adrizante máximo se alcanza antes, alrededor de entre los 10, 20 grados de escora frente a los monocascos, el cual está más atrasado, entre los 60 y 70 grados además de ser también más corto.

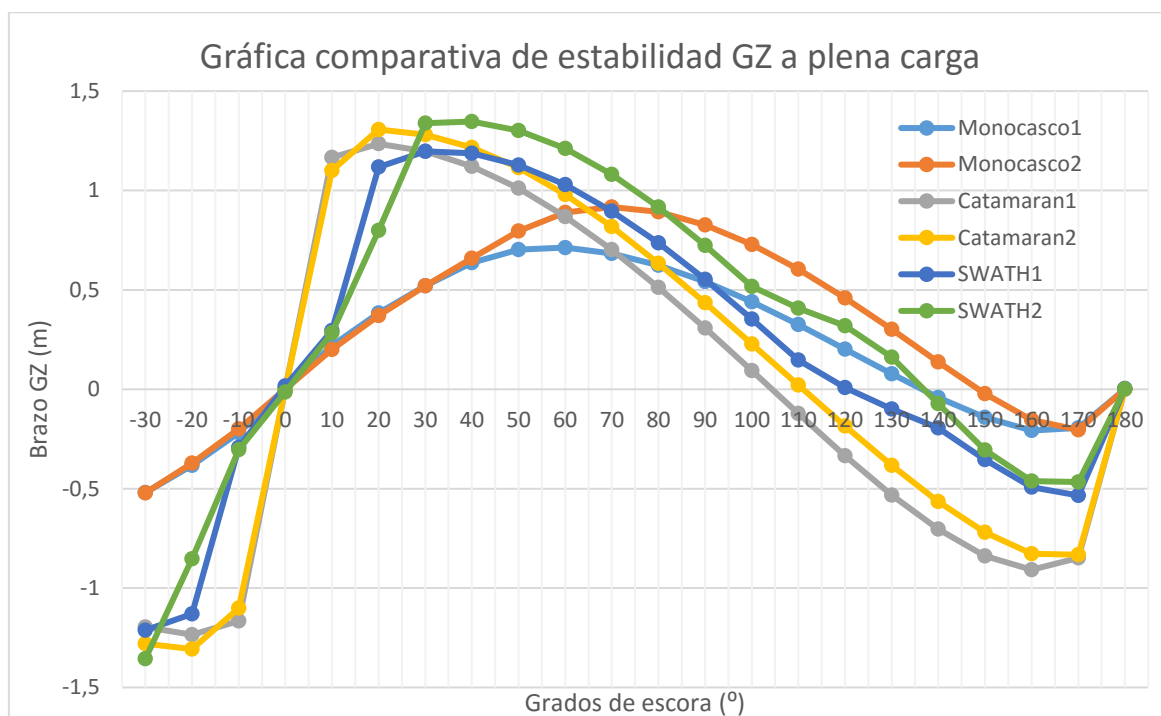
Por otro lado, volviendo a los modelos multicasco, el pico se alcanza de forma muy rápida (pendiente muy pronunciada) y también decrece en cierta medida, de la misma forma. Sobre todo en el caso de los SWATH. En cambio, con los monocascos, se describe una curva más suave.

Otro aspecto a considerar y relacionado con la pendiente que adopta cada curva a lo largo del eje de las abscisas es que los multicascos llegan antes al valor cero del brazo adrizante (aunque los modelos Monocasco1 y SWATH2 están bastante a la par, alrededor de los 135°).

Dichos resultados indican la “brusquedad” que puede haber durante el adrizamiento en el caso de los multicascos frente a los monocascos. Y dentro de los multicascos, los catamaranes frente a los SWATH. Ello se traduce en un balanceo incómodo para los pasajeros frente al oleaje frecuente.

Finalmente, si se comparan los trazos de las curvas bajo las abscisas, se aprecia que los Monocascos tienen un área menor. Luego los SWATH y finalmente los catamaranes.

Gráfica comparativa de la estabilidad transversal de los modelos con desplazamiento a máxima carga:



En el caso con máximo desplazamiento, lógicamente y como hasta ahora, los multicascos alcanzan antes el pico de máximo brazo adrizante, aproximadamente entre los 20 y 30 grados de escora, y dentro de los multicascos, son los modelos tipo catamarán los que llegan antes. En su conjunto los multicascos, están aproximados. En cambio, con los modelos tipo monocasco al igual que en el caso anterior, la curva es más “suave” y el pico sigue entre los 60 y 70 grados. A parte del SWATH2 los demás multicascos alcanzan antes el valor cero en el brazo adrizante, y al igual que en el caso anterior los monocascos más tarde. Donde una vez más el modelo Monocasco1 y SWATH2 están a la par, alrededor de los 140°.

Por último, y al igual que en el caso con desplazamiento en rosca, la zona de bajo las abscisas continúa con el mismo orden pero con picos menores.

2.4 Conclusión

Finalmente, se decide optar por un monocasco, concretamente el modelo Monocasco2. A continuación se exponen los criterios de dicha decisión.

Dada las conclusiones extraídas del apartado del análisis comparativo entre los diferentes cascos propuestos, se entiende que cada modelo tiene un perfil de características diferente donde cada uno tiene aspectos que predominan sobre otros.

Dado que el objetivo del proyecto, es buscar el diseño que mayor velocidad proporcione con 11,26 kW, pues se considera un aspecto atractivo a la hora de alquilarlo para el público joven, pero sin renunciar a la seguridad y a la simplicidad, ya que no se espera que el público tenga unos conocimientos básicos sobre la náutica, se descarta el catamarán pues a pesar de su estabilidad (hecho no totalmente positivo, puesto que también implica un balanceo más notable) y su posibilidad de una bañera amplia y confortable, es su gobernabilidad la que no es compatible con los objetivos del proyecto. Porque el hecho de tener dos cascos también implica tener dos motores y por lo tanto un comando que controle cada motor, el cual a ojos de un experto puede resultar aparatoso.

Centrándose en los resultados de las gráficas, empezando con las de potencia, en el rango de velocidades entre 0 y 10 nudos, no parece haber una diferencia notable, sobretodo en la condición de desplazamiento en rosca. Para la condición de desplazamiento máximo, sin embargo salta a la vista la ineficacia de los SWATH, pero se considera que los datos del SWATH no son creíbles ni al nivel teórico del que se está analizando en el presente estudio, pues la inexperiencia en el modelado de los SWATH juega un papel importante.

En cuanto a las gráficas comparativas de la estabilidad, y descartado los catamaranes, solo queda comparar el comportamiento entre los monocascos y los SWATH. Los SWATH básicamente se balancean como los catamaranes pero con mayor gentileza, pero ello en unas condiciones de mar en calma y con la embarcación estática. Ya que el SWATH en movimiento se comporta totalmente diferente, puesto que la superficie expuesta al oleaje es mucho menor a la del monocasco porque chocaría con los arbotantes. Hecho que lo convierte en una embarcación mucho más confortable. Además no se han tenido en cuenta los diferentes apéndices que necesita, para mantener la sustentación hidrodinámica que necesita y que aumenta la sensación de estabilidad mientras se está en movimiento.

Todo indica que las embarcaciones tipo SWATH pueden ser una buena apuesta de diseño, y además tiene el aliciente de que su forma curiosa y poco común llama la atención. Pero tras un estudio más exhaustivo, finalmente se ha desistido en dirigir el proyecto por este camino debido a la falta de recursos para realizar los cálculos pertinentes a la resistencia al avance. A pesar de poder utilizar herramientas como *Maxsurf Resistance* para obtener los datos de potencia necesaria, la incapacidad de contrastarlo mediante cálculos manuales entre otras complejidades hace complicado seguir con un casco tipo SWATH.

Por lo tanto, al final el proyecto continuará con el monocasco. Y dentro de los monocascos, el modelo que mejor comportamiento presenta es el Monocasco2. Puesto que de entre los dos es el que mejor responde ante la resistencia al avance, demandando menos potencia y mejor perfil de estabilidad tiene.

3. Normativa

Para la concepción del presente proyecto se han recurrido a ciertas normativas que regulan y establecen unas especificaciones mínimas que deben cumplir las embarcaciones de recreo.

Algunas de las normativas se pueden encontrar en el portal web del boletín oficial del estado, BOE, descargable en formato PDF, mientras que otras es necesario adquirirlas mediante pago, puesto que pertenecen a la Asociación Española de Normalización y Certificación, AENOR (si se desea adquirirlas en español). Por lo tanto no ha sido posible aplicar el 100% de las normativas que conciernen al presente proyecto y sus objetivos.

Por lo tanto las normas que se han aplicado son las que se han podido obtener de forma gratuita. Siendo las fuentes de obtención el portal web del BOE, la biblioteca de la Facultad Náutica de Barcelona, de la Universidad Politécnica de Cataluña e Internet.

A continuación se expone un listado de las normas utilizadas. El contenido de estas se encuentran en el *Anexo B*, el cual solo contiene las especificaciones que cada norma tiene con relación al presente proyecto.

Normas	Descripción
18571 Real Decreto 2127/2004 de 29 de Octubre	Se regulan los requisitos de seguridad de las embarcaciones de recreo, de las motos náuticas, de sus componentes y de las emisiones de escape y sonoras de sus motores.
17038 Real Decreto 1435/2010 de 5 de Noviembre	Se regula el abanderamiento y matriculación de las embarcaciones de recreo en las listas sexta y séptima del registro de matrícula de buques.
13465 Resolución de 26 de Noviembre de 2013	Se actualiza el anexo XVIII del Real Decreto 2127/2004, de 29 de octubre, por el que se regulan los requisitos de seguridad de las embarcaciones de recreo, de las motos náuticas, de sus componentes y de las emisiones de escape y sonoras de sus motores.
10344 Real Decreto 875/2014 de 10 de Octubre	Se regulan las titulaciones náuticas para el gobierno de las embarcaciones de recreo.
9581 ORDEN FOM/1144/2003 de 28 de Abril	Se regulan los equipos de seguridad, salvamento, contra incendios, navegación y prevención de vertidos por aguas sucias, que deben llevar a bordo las embarcaciones de recreo.
DNVGL-RU-Yacht-Pt3Ch3	Rules for Classification - Yachts - Hull - Hull design loads

Dentro de la norma 13465 Resolución de 26 de Noviembre de 2013, contiene el Anexo XVIII del cual se especifican una serie de normativas europeas ISO con las que las embarcaciones de recreo deben cumplir.

Estas normas no están disponibles gratuitamente, pero como se ha comentado al principio de este apartado, en la biblioteca de la Facultad Náutica de Barcelona se pueden acceder a algunas

de ellas. Por lo tanto para el presente proyecto solo se han aplicado las normas del Anexo XVIII que estaban disponibles en la biblioteca más las encontradas por otras fuentes, como internet. Que son:

Norma	Título
UNE-EN ISO 1157	Embarcaciones de recreo. Dispositivos de protección contra el arranque con marcha engranada
UNE-EN ISO 11591	Embarcaciones de recreo a motor. Campo de visión desde la posición del timón
UNE-EN ISO 11592	Embarcaciones de recreo de eslora menor a 8 m. Determinación de la potencia nominal máxima de propulsión
UNE-EN ISO 11812	Embarcaciones pequeñas. Bañeras estancas y bañeras de vaciado rápido.
UNE-EN ISO 12217-3	Pequeñas embarcaciones. Evaluación y clasificación de la estabilidad y la flotabilidad. Parte 3: Embarcaciones de eslora inferior a 6 m.
UNE-EN ISO 14946	Embarcación de recreo. Capacidad de carga máxima.
ISO 12215-5	Pequeñas embarcaciones. Construcción de cascos y escantillones. Parte 5: Presiones de diseño, tensiones de diseño y determinación del escantillón.

4. Materiales

El presente apartado no pretende realizar un estudio profundo sobre el campo de los materiales, por lo que solo se presentará una sencilla introducción, para situar en contexto las razones por las que se ha escogido el material seleccionado para el proyecto.

A lo largo de la historia, y desde que se tiene registro, los materiales utilizados para la construcción de embarcaciones se han ido innovando siglo tras siglo y año tras año. Desde la madera hasta los materiales compuestos de hoy en día.

Su elección determina la longevidad y rendimiento de la embarcación una vez en la mar. Hoy en día, en el ámbito de las embarcaciones de recreo, prima el uso de los materiales compuestos conocidos como composites. Estos consisten en la unión de diferentes materiales que trabajan como un solo módulo y proporcionan unas características mecánicas determinadas, diferente a los materiales que la componen, por separado.

Existen una amplia variedad de composites así como los campos de uso que tiene, sin embargo en el ámbito naval y concretamente en las embarcaciones de recreo éstos se pueden reducir y generalizar en los siguientes compuestos:

- Elementos de refuerzo o fibras
- Elementos de matriz o resinas

Los refuerzos son el elemento con las principales propiedades mecánicas que tendrá el compuesto final. Estas consisten en hilos de un material determinado, entrelazados para formar un tejido. De los tipos de refuerzos más comunes que se utilizan en el ámbito naval, se distinguen:

- Las fibras de vidrio

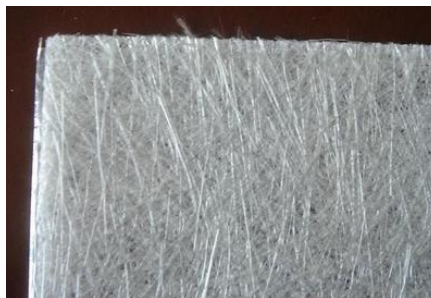


Imagen 16. Tela de fibra de vidrio tipo Mat o Feltro. Se caracteriza por constituirse de fibras de orientación aleatoria unidas por un ligante.



Imagen 17. Tela de fibra de vidrio tipo Roving. Formado por fibras entrecruzadas intencionadamente para formar un tejido.

- Las fibras de aramida o kevlar

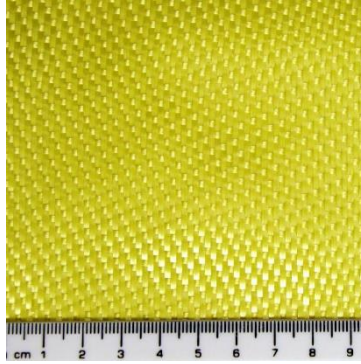


Imagen 18. Tejido de fibra aramida. Se caracteriza por su capacidad de absorción de energía y resistencia a la tracción.

- Las fibras de carbono

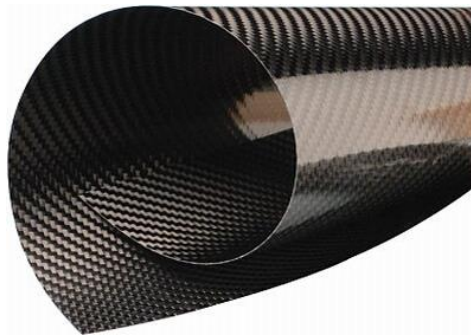


Imagen 19. Tela de fibra de carbono

Cada una de ellas puede presentar propiedades diferentes en función de su confección. Tanto por el método de fabricación como por la proporción de sus componentes a la hora del fabricado.

En cuanto a la matriz, ésta protege a los refuerzos de agentes externos y dota al conjunto de la rigidez necesaria. Se distinguen:

- Resina poliéster
- Resina viniléster
- Resina epoxi

Cada tipo de resina presenta unas características y resistencias concretas, además también presentan su propia particularidad a la hora de su manipulación, debido a que ésta se presenta en forma líquida con una viscosidad determinada. Combinado con un catalizador y un acelerador, la solución pasa por una reacción exotérmica que lo lleva a un estado de gel. Pasado este estado, se considera finalizado el tiempo posible para su manipulado, y empieza la fase de endurecimiento donde la temperatura se eleva hasta alcanzar su pico máximo. En función del tipo de resina y el espesor aplicado, la temperatura máxima a alcanzar puede llegar a sobrepasar incluso los 150°C. Pasado el pico máximo la resina ya se considera en estado sólido y empieza a enfriarse hasta alcanzar la temperatura ambiente. La fase comprendida entre el manipulado hasta alcanzar la temperatura máxima se denomina fase dinámica y es donde más gases contaminantes se despiden. Luego le sigue la fase estática, una vez pasado el pico exotérmico.

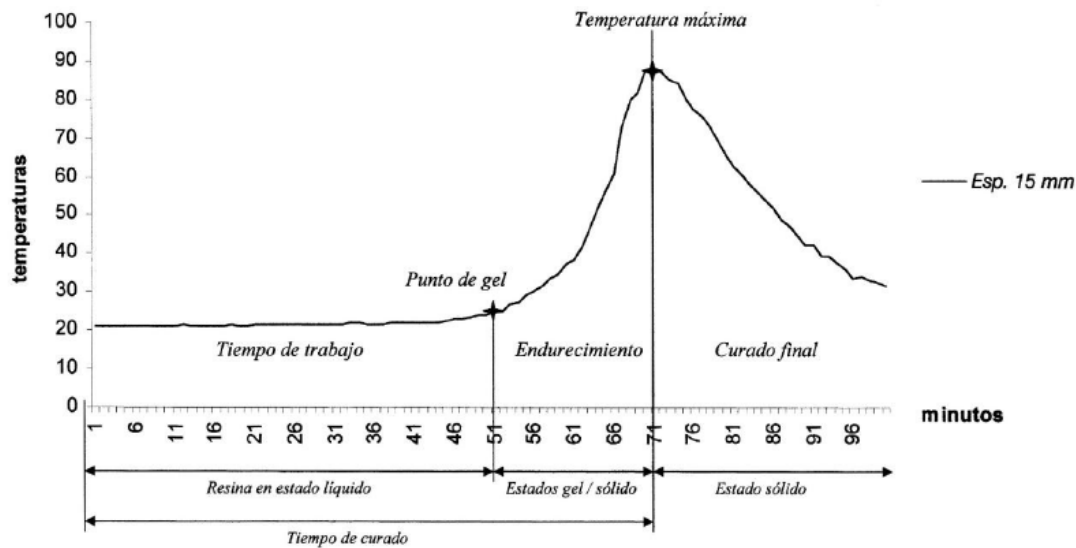


Imagen 20. Ejemplo de curva exotérmica para una resina de 15 mm de espesor.

Cada uno de los elementos mencionados tiene un perfil de propiedades particular, y dependiendo de las combinaciones, se puede obtener un compuesto más favorecedor o menos al objetivo del proyecto. Por otro lado, a la hora de confeccionar un material compuesto no basta con seleccionar los materiales que mejor convengan sino que también hay que elegir el método de ensamblado adecuado o más conveniente. Correspondiente al proceso de laminado.

En función del método de laminado, se obtendrá una proporción de fibra-resina determinada, resultando en unas propiedades mecánicas concretas. Cuanto más porcentaje de fibra, mejores propiedades mecánicas. O dependiendo de la orientación de las fibras del tejido (refuerzo), este será más resistente ante esfuerzos de una determinada dirección u otro e incluso ambas.

La mano de obra es otro factor que depende del método de laminado, demandando un número de horas mayor o menor así como el uso de herramientas especiales.

Algunos de los métodos de laminado que existen son:

- **Método por contacto:** son los métodos en que el proceso de unión de las fibras con la resina, llamado impregnación, se realiza de forma manual por un operario. Algunos de estos métodos son:
 - **Laminado manual:** consiste en la impregnación de la resina sobre el refuerzo mediante un rodillo. El nivel de precisión obtenido es de una relación de fibra/resina de entre 30/70% y 45/55%.
 - **Proyección simultánea:** consiste en la proyección de una combinación de fibra cortada entre chorros de resina. Mediante un instrumento similar a una pistola de pintura. Para posteriormente pasar el rodillo para mejorar la impregnación. El porcentaje de fibra proyectada puede variar de 20% a 50%.
 - **Impregnación:** consiste en pasar los tejidos de refuerzo por un entramado de rodillos con el fin de acabar impregnándolo con una cantidad (concretamente, espesor) determinada de resina. Se pueden obtener porcentajes de refuerzo de entre 35% y 55%.
- **Método por vacío:** son los métodos en que se recurre al uso de una presión superior a la atmosférica para compactar y obtener el material final. Se distinguen los siguientes métodos:

- **Laminado por vacío asistido:** es una variación del laminado manual en el que se finaliza montando un sistema de vacío que cubre el laminado mediante una bolsa de vacío y una bomba (entre otros elementos, llamados fungibles). Para así compactar el conjunto y extraer la resina sobrante. Se pueden obtener porcentajes de refuerzo de entre 55% y 60%.
- **Preimpregnado:** consiste en el uso de telas previamente tratadas mediante impregnación y debidamente almacenadas a temperaturas bajo cero. Para su uso, se descongelan, se colocan sobre el molde y se somete a un proceso de vacío. Se pueden obtener porcentajes de refuerzo de hasta 65%, 75%.
- **Método por vía líquida:** son los métodos donde la impregnación se realiza propagando la resina por un entramado de circuitos estratégicamente colocados encima de los refuerzos. Mediante el uso de una bomba. Un ejemplo de este método es:
 - **Infusión:** consiste en montar un circuito de tubos encima del entramado de refuerzos previamente colocados en el molde. Se practica el vacío mediante una bolsa de vacío y mediante la diferencia de presión se induce la resina dentro del circuito. La resina se distribuye a lo largo de la superficie con ayuda de una capa porosa llamado “peel-ply”.

Dependiendo de los factores que influyen en la concepción de una embarcación, que son muchos, se concluye la elección de los materiales más adecuados así como su método de laminado. Sin duda, uno de los factores que más destaca es el coste. A continuación se muestra una tabla comparativa de precios.

Tabla 7. Comparativa de precios.

Refuerzos (€/m²)	Fibra de vidrio (Mat ¹ – Roving ²)	3,90€ - 6,50 €
	Fibra de aramida ³	17,50 €
	Fibra de carbono ⁴	50,00 €
Resinas (€/kg)	Poliéster	8,70 €
	Viniléster	11,97 €
	Epoxi	15,10 €
La fuente de información se encuentra en el apartado 9. <i>Bibliografía</i> . 1. Mat de 300 g/m ² 2. Roving de 300 g/m ² 3. Aramida de 80 g/m ² 4. Carbono de 200 g/m ²		

De entre las fibras destaca el precio de la fibra de carbono, que suele combinarse con la resina epoxi, la más cara de las resinas, esta combinación es la que mejores propiedades mecánicas presenta y es común en embarcaciones de competición o de lujo. Sin embargo para embarcaciones con un “caché” más holgado, es común el uso de fibra de vidrio con resina de poliéster. A nivel de costes es el más barato de los presentados en este apartado donde es usado en marcas como Bavaria o Beneteau entre otras. Las propiedades mecánicas que ofrece, aunque no son las más competitivas en cuanto a rendimiento mecánico, dentro de la variedad de composites, sí que es suficiente para la mayoría de embarcaciones si se observa con perspectiva, puesto que cubre con los criterios de seguridad sin resultar excesivamente caro.

Para este proyecto se utilizará la fibra de vidrio con resina de poliéster. Y la secuencia de laminado que se empleará es la siguiente:

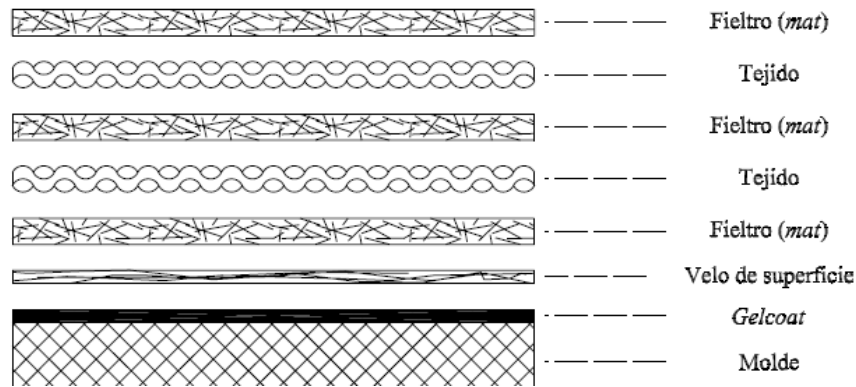


Imagen 21. Secuencia de laminado. Imagen del libro *Materiales compuestos*. De Alejandro Besednjack

El Gelcoat es la primera capa de resina que se aplica al molde. Protege el laminado ante agentes externos y además es la capa visible al exterior una vez desmoldeado. El velo de superficie es una tela *mat* o fieltro de bajo gramaje, y es el primer elemento a laminar con el fin de aumentar la porosidad y por lo tanto la adherencia. Tras el velo de superficie empieza la parte repetitiva de la secuencia que se aplicará al diseño, la combinación de una capa de fieltro y seguidamente una capa de tejido roving. Hasta alcanzar con el espesor deseado, teniendo en cuenta que la última capa ha de acabar en tipo fieltro.

Por último, se menciona un tipo de estructura de laminado, la estructura sándwich. Cuyo concepto consiste en la laminación de dos capas o pieles de una fibra entre un material denominado núcleo, unidos por un material adhesivo denominado interfase. Como se muestra en la siguiente imagen:

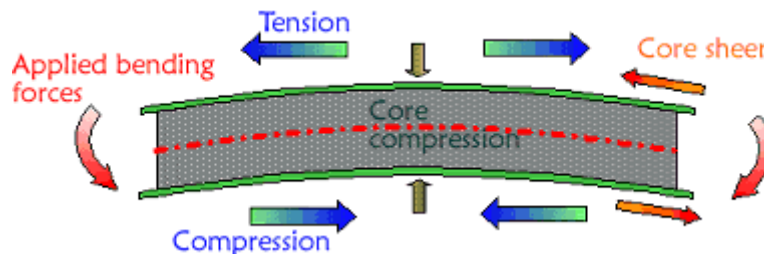


Imagen 22. Ilustración de una lámina tipo sándwich sometida a esfuerzos flectores (bending), donde una de las pieles sufre tensión y la opuesta, compresión.

La función del núcleo es la de separar las dos pieles para así aumentar la resistencia a los esfuerzos, principalmente los flectores así como proporcionar aislamiento térmico. Para ello el conjunto debe poder transmitir todas las fuerzas (cortantes, tangenciales, etc.) y trabajar como un único módulo.

La ventaja de las estructuras sándwich radica en su relación de alta resistencia a esfuerzos con un peso significativamente menor. En comparación con una plancha de laminado convencional.

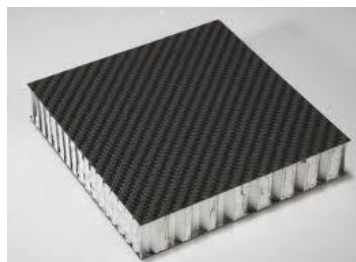


Imagen 23. Estructura tipo sándwich con piel de fibra de carbono y núcleo tipo panel de abeja.

5. Diseño

Una vez escogido el diseño del casco con el que empezar los diferentes cálculos se procede a realizar un boceto preliminar sobre el diseño del interior de la embarcación y su distribución.

Para hacer la embarcación más polivalente se ha decidido que el diseño será compatible con las atribuciones propias de la zona de navegación 4, que es una categoría 2 puestos superior a la permitida para las embarcaciones de recreo sin licencia. Cuyas atribuciones se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 8. Atribuciones según zona de navegación.

Zona de navegación	Antigua nomenclatura	Distancia a la costa	Categoría de diseño
Zona "4"	Navegación en aguas costeras	Hasta 12 millas	A, B, C
Zona "5"		Hasta 5 millas	A, B, C
Zona "6"		Hasta 2 millas	A, B, C

La categoría de diseño escogida es la máxima requerida por la Dirección General de la Marina Mercante para la zona de navegación 4, la categoría C.

En el *Anexo B* se detallan con más profundidad las especificaciones que deben cumplir las embarcaciones de recreo con categoría de diseño C en zona de navegación 4.

De esta forma, no solo se busca el diseño más óptimo para una embarcación de recreo de tan solo 11,26 kW de potencia, sino que también existe la posibilidad de aumentar las atribuciones de la embarcación con tan solo un cambio en los permisos de navegación y demás permisos burocráticos para poder alquilarlo como una embarcación con licencia e instalarle un motor superior a 11,26 kW capaz de navegar hasta 12 millas de la costa y resistir las fuerzas propias de esta zona de navegación según las normativas especificadas en el Anexo mencionado.

Por lo tanto, desde el punto de vista del diseño estructural, el reto reside en conseguir una embarcación cuyos elementos estructurales y escantillado compatibles con una categoría C, no lastren el rendimiento de una embarcación limitada a 11,26 kW.

Para el proceso de modelaje del interior de la embarcación se recurre al programa de diseño 3D, *Rhinoceros 5*. El cual permite estimar áreas y volúmenes así como datos geométricos tales como el centro de áreas o volúmenes sin necesidad de recurrir a ningún tipo de cálculo manual.

Exportando el modelo Monocasco2 modelado con *Maxsurf Modeler* a *Rhinoceros 5* y tras un proceso de optimización, se llega al siguiente diseño, final.

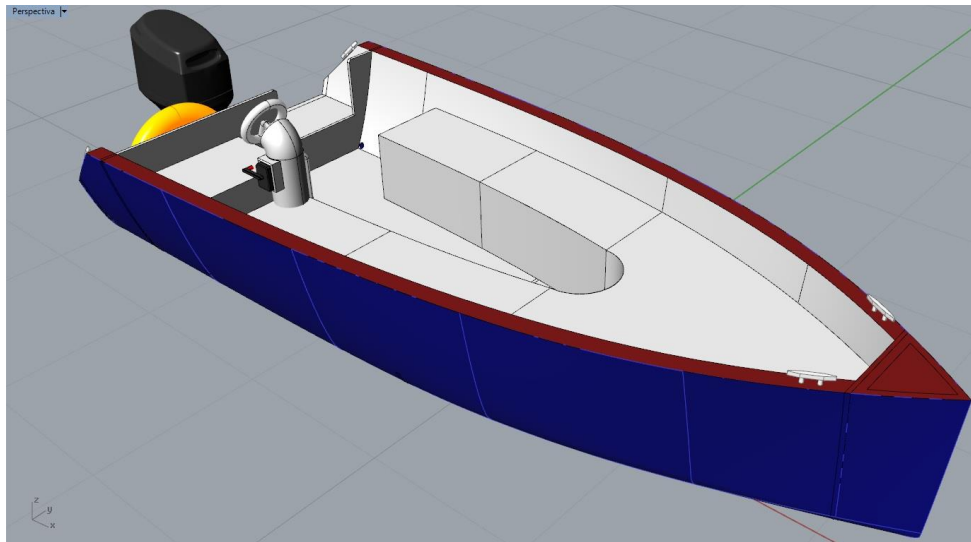


Imagen 24. Vista de proa del diseño final

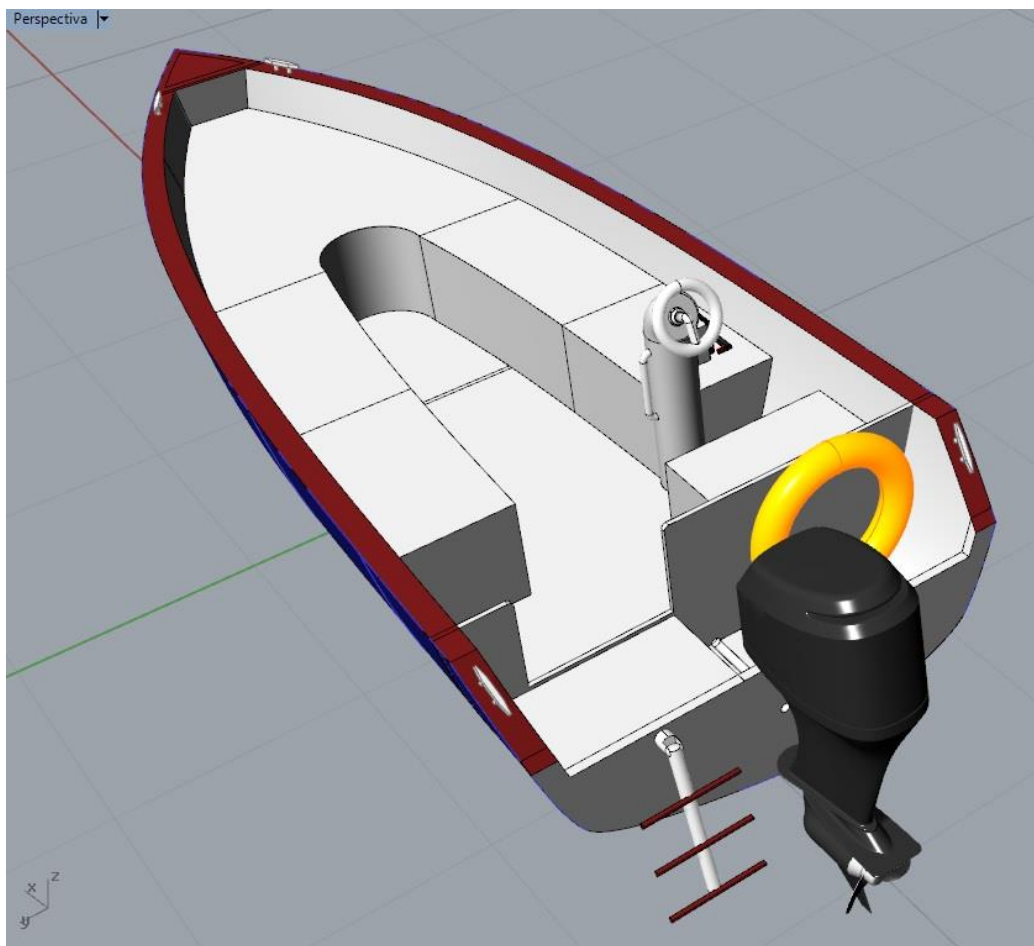


Imagen 25. Vista por popa del diseño final

Como se ha propuesto al principio del presente proyecto, la intención es diseñar una embarcación compatible con las atribuciones propias de las embarcaciones en el cual, no se necesita licencia (título náutico) para ser gobernadas. Con este claro objetivo, ya se esclarece parte de la dirección que debe tomar el diseño. Pues ya se asume que el diseño debe respetar los límites que marcan las normativas de Fomento con respecto a este tipo de embarcaciones.

Por otro lado, también se ha querido orientar o facilitar, la embarcación hacia el ámbito del chárter, es decir, hacia el ámbito comercial, no para uso privado sino lucrativo. Como son, las empresas de alquiler de embarcaciones. Con dicha intención, se concreta aún más, las propiedades del diseño.

Por eso mismo se ha mantenido un diseño simple, para facilitar el mantenimiento. Con toda la superficie habitable al descubierto. Y con superficie para poder sentarse y/o estirarse.

En los apartados siguientes se detallan las características de los diferentes departamentos tenidos en cuenta. Siendo estos, el sistema de autovaciado, el cálculo del escantillonado, la determinación del desplazamiento y análisis del modulo de resistividad transversal, el estudio de los requerimientos de potencia necesaria y finalmente la estabilidad.

5.1 Sistema de autovaciado

El sistema de autovaciado es crucial para una embarcación de recreo, sobre todo si no es obligatoria una bomba de vaciado. En el presente proyecto, la normativa 9581 - ORDEN FOM 1144/2003 de 28 de Abril exige como material de achique un balde y una bomba para poder navegar en la zona 4. Aun así, la capacidad de autovaciado se considera imprescindible en una embarcación de recreo. Y consiste en la capacidad de una bañera, en el que ha embarcado agua, en poder achicarse por efecto de la gravedad.

Mediante la norma UNE-EN ISO 11812, mencionado en el apartado 3. Normativa, y cuyos cálculos se detallan en el *Anexo B* y *Anexo C*, se obtienen los siguientes resultados.

Tabla 9. Resultados de las especificaciones mínimas para el sistema de autovaciado según la norma UNE-EN ISO 11812.

Número de desagües	2
Diámetro del desagüe (cm)	2
Tiempo de vaciado máximo (min)	9,72
Longitud del desagüe (m)	0,20

Los resultados de la *Tabla 9* muestran los parámetros necesarios para vaciar por efecto de la gravedad, la bañera de la embarcación, inundada hasta la borda.

El volumen de agua que puede llegar a contener la bañera es de $0,5076 \text{ m}^3$. Tal y como se ilustran en las siguientes imágenes.

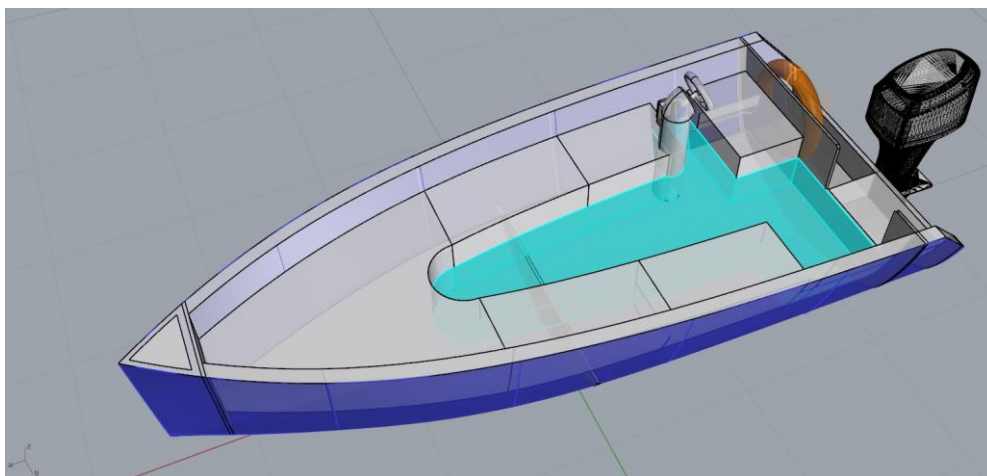


Imagen 26. Vista en perspectiva de la bañera inundada hasta su borde de entrada.

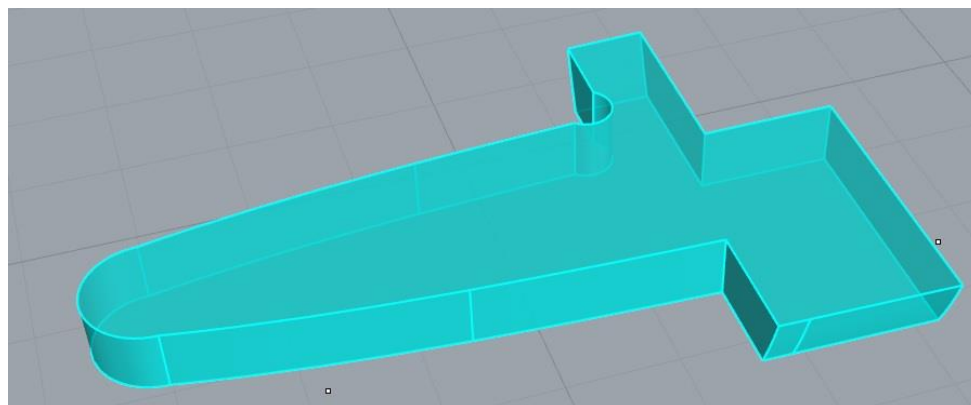


Imagen 27. Vista en perspectiva del volumen de agua embarcada en la bañera.

Tras ciertas consideraciones se ha decidido por un sistema de desagüe de las siguientes características.

Tabla 10. Dimensión del desagüe escogido.

Número de desagües	3
Diámetro del desagüe (cm)	4
Tiempo de vaciado estimado (min)	7,22
Longitud del desagüe (m)	0,10

La disposición de los desagües es la siguiente.

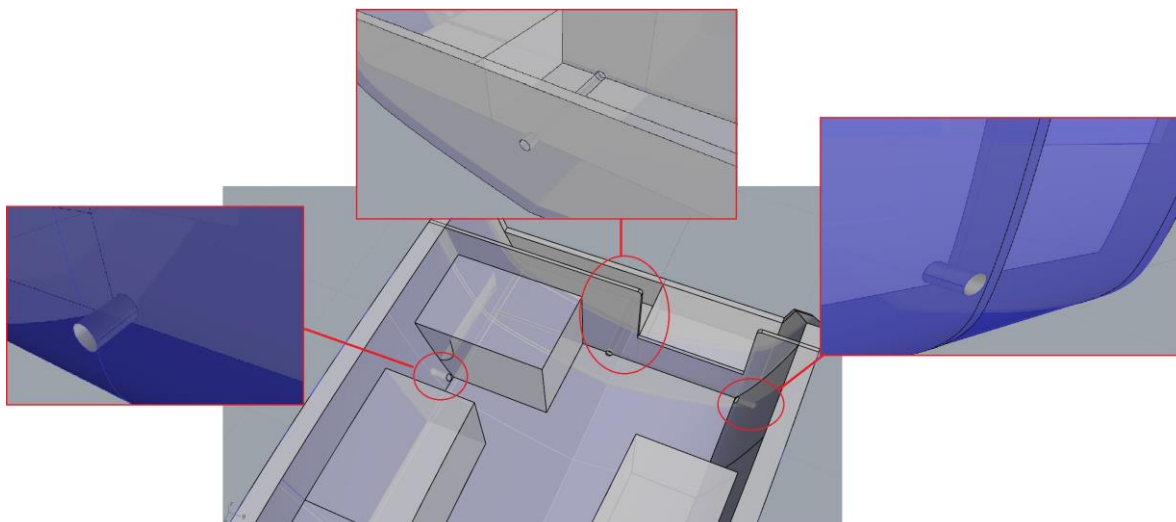


Imagen 28. Ilustración de la distribución de los desagües

Hay 3 desagües de sección circular con 4 cm de diámetro, en la zona de popa, situados, uno en el costado de estribor, al lado del asiento del piloto, otro en el costado de babor y el último, centrado en el eje de crujía.

A pesar de que se espera un trimado natural debido a la posición del centro de gravedad respecto a la del centro de flotación, donde se crea un asiento positivo, también se ha provisto a la cubierta de un cierto grado de inclinación longitudinal para asegurar que el agua que pueda embarcar fluya hasta la popa, que es donde se encuentran los orificios de desagüe.

La inclinación de la cubierta tiene una pendiente de $0,5^\circ$.

La zona de la cubierta más baja se encuentra a 10 cm de distancia con respecto al nivel del agua, en condición de máxima carga. La máxima carga considerada es la obtenida durante el estudio de mercado y la comparativa analítica, 950 kg de desplazamiento. Cuyo calado correspondiente es de 0,315 cm. Por lo tanto la zona más baja de la cubierta se encuentra a 0,415 cm con respecto a la línea base.

Durante el autovaciado, se distinguen 3 escenarios:

- Mar en calma, sin motor.
- Mar no en calma, sin motor.
- En navegación

Los cálculos para el diseño del sistema de desagüe son para un escenario de mar en calma, confiando con el margen de seguridad que proporciona la normativa e implementada en su proceso de cálculo para determinar las especificaciones mínimas a cumplir.

Cuando se producen escoras debido al estado del mar que impide el desembarque del agua por el desagüe de popa, éste lo hará por los desagües de costado.

En ambos casos se espera un trimado favorable al desalojo del agua embarcada, donde los propios tripulantes deberían posicionarse debidamente para dicho objetivo.

En cambio si la embarcación se encuentra en navegación, la inercia del movimiento confinaría el agua hacia la popa. Y además, aceleraría el desabarque del agua.

5.2 Escantillonado

En este apartado se procede a calcular el espesor mínimo requerido por la normativa ISO 12215-5 y también las dimensiones mínimas de los refuerzos. Para así poder ajustar el procedimiento de laminado a la normativa.

Para la aplicación de la normativa es necesario dividir, tanto el casco como las demás estructuras como, cubierta o asientos en planchas de unas determinadas dimensiones. Los planos de la disposición de las planchas se encuentra en el *Anexo A*.

Los resultados obtenidos se basan a partir de las presiones que recibe cada plancha en función de la velocidad. A continuación se muestran las especificaciones mínimas que debe cumplir el diseño propuesto, para una velocidad de 20 nudos. Que es la velocidad de diseño estimada para navegar en la zona 4.

Los parámetros de entrada utilizados para dicho cálculo son los obtenidos durante el estudio de mercado. A pesar de que el desplazamiento a máxima carga real de la embarcación es menor, como se detallará en el siguiente apartadono 5.3 *Desplazamiento*, no se ha considerado necesario modificar los valores. Puesto que la variación es pequeña, y de esta manera se asegura un margen de seguridad.

Los datos de entrada son:

Tabla 11. Datos utilizados para el cálculo del escantillonado.

Datos a introducir		
LWL	4,935	m
Bc	1,6	m
$\beta_{0,4}$	18,019	º
V	20	kn
m_{LDC}	956,5	kg
LWL: eslora de flotación; Bc: manga entre pantoques a 0,4LWL a proa desde popa; $\beta_{0,4}$: ángulo de astilla muerta a 0,4LWL a proa desde popa; v: velocidad; m_{LDC}: desplazamiento en condición de máxima carga.		

- Resultados del espesor, t en milímetros, de los paneles, obtenida por normativa:

Tabla 12. Resultado del espesor de los paneles del casco.

Nº plancha	Fondo	Costado	Cubierta
1	5,88	3,80	3,10
2	6,54	4,84	4,18
3	6,94	5,37	3,94
4	6,15	5,93	2,96
5	3,81	4,28	1,81
6	1,95	0,40	1,28
Máximo	6,94	5,93	4,18

- Resultados de las especificaciones mínimas a cumplir de los refuerzos:

Tabla 13. Resultado de las propiedades del refuerzo.

Zona	Tipo	A_w (cm ²)	S_M (cm ³)	I (cm ⁴)
Fondo	Longitudinal	5,3	84,2	44,34
	Cuadernas	5,3	62,1	24,79
Costado	Longitudinal	4,7	73,7	38,81
	Cuadernas	4,7	46,8	16,18
A_w : área sección transversal; S_M : momento resistente; I : momento de inercia.				

- Los resultados de las especificaciones mínimas a cumplir para los mamparos tipo sándwich:

Tabla 14. Resultados de las especificaciones mínimas de los mamparos.

Tipo mamparo	Posición	SMo (cm ³ /cm)	SMi (cm ³ /cm)	I (cm ⁴ /cm)
Colisión	Proa	0,0011121	0,0016052	0,0001213
Estructural estanco	Cuaderna maestra	0,0016951	0,0024467	0,0007646
Estructural	Popa de la bañera	0,0008832	0,0012748	0,0002552
Estructural	Popa	0,0004325	0,0006242	0,0001158
SMo : modulo resistente mínimo para piel exterior para un sandwich de 1 cm de ancho; SMi : modulo resistente mínimo para piel interior para un sandwich de 1 cm de ancho; I : momento de inercia mínimo para un sandwich de 1 cm de ancho.				

Una vez conocidas las especificaciones mínimas requeridas, se aproxima mediante un plan de laminado. Como se ha comentado en el apartado 4. *Materiales*, el laminado es con fibra de vidrio y siguiendo con la secuencia de laminado comentado se calculan las propiedades de cada

elemento estructural. Teniendo en cuenta que el método de laminado a emplear será el método de laminado manual.

A continuación se muestran los valores finales de los diferentes elementos estructurales.

Para las planchas:

Tabla del número de capas y propiedades de la secuencia de laminado:

Tabla 15. Propiedades del laminado.

Capa	Fondo	Costado	Cubierta	w (kg/m ²)	ψ
Velo de superficie	1	1	1	0,03	0,3
Fieltro (mat)	6	6	5	0,225	0,3
Tejido (roving)	5	5	4	0,5	0,48
Fieltro (mat) u.c.*	1	1	1	0,225	0,3
Total	13	13	11	-	

*u.c.: última capa; w: masa de fibra por metro cuadrado; ψ : contenido en masa de fibra en una lámina.

Tabla de propiedades de según la plancha:

Tabla 16. Propiedades de la plancha

Propiedad	Unidades	Fondo	Costado	Cubierta
t	mm	6,98	6,98	4,64
σ_{uf}	N/mm ²	182,88	182,88	179,74
σ_{ut}	N/mm ²	126,82	126,82	122,46
σ_{uc}	N/mm ²	130,32	130,32	129,10
τ_u	N/mm ²	69,10	69,10	68,45
E	N/mm ²	9774,11	9774,11	9464,52

t: Espesor; σ_{uf} : Esfuerzo flexor de rotur; σ_{ut} : Esfuerzo de tensión de rotura; σ_{uc} : Esfuerzo de compresión de rotura; τ_u : Esfuerzo tangencial de rotura; E: módulo del límite elástico

Para los refuerzos:

Los datos se han obtenido del Anexo G de la norma ISO 12215-5. Donde se ha escogido el perfil más adecuado según los requerimientos.

Tabla 17. Propiedades de los refuerzos

	Refuerzo	Fondo		Costado	
		Longitudinal	Cuaderna	Longitudinal	Cuaderna
Propiedades mecánicas	A_w (cm²)	12,3	8,4	8,4	8,4
	S_M (cm³)	98,3	73	73	73
	I (cm⁴)	798	502	502	502
Dimensiones del refuerzo	t_w (mm)	4,9	4,2	4,2	4,2
	b_c (mm)	105	125	125	125
	b_b (mm)	125	150	150	150

h (mm)	125	100	100	100
w (kg/m²)	2,1	1,8	1,8	1,8

El tipo de refuerzo utilizado para el refuerzo longitudinal de fondo es el denominado “square - top hat”, cuyas dimensiones de la tabla se ilustran en la siguiente imagen.

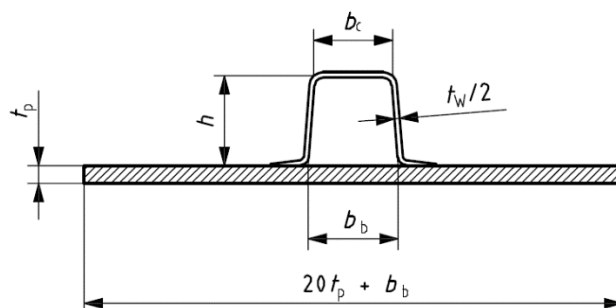


Imagen 29. Ilustración de las dimensiones del refuerzo “Square”. Imagen de la norma ISO 12215-5

Mientras que el resto de refuerzos es del tipo “squat – top hat”, ilustrada en la siguiente imagen.

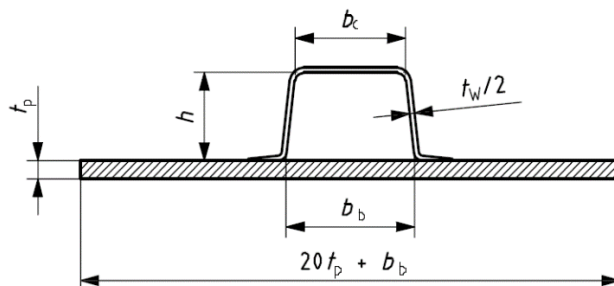


Imagen 30. Ilustración de las dimensiones del refuerzo “Squat”. Imagen de la norma ISO 12215-5

Las dimensiones escogidas de los refuerzos, según la normativa, solo son aptas para planchas asociadas con un espesor, t_p mínimo de 5 mm. La plancha asociada es la plancha sobre el que se lamina el refuerzo.

Para los mamparos:

Los datos se han obtenido en base al Anexo D de la norma ISO 12215-5. Donde se ha escogido el perfil más adecuado según los requerimientos. El perfil de plancha tipo sándwich escogido es de geometría simétrica, donde ambas pieles exteriores tienen el mismo espesor.

Tabla 18. Propiedades de los mamparos

Mamparos	t_s (mm)	t_c (mm)	t_t (mm)	w (Kg/m ²)	SM (cm ³ /cm)	I (cm ⁴ /cm)
Colisión	1,24	20	22,48	0,755	0,248	0,280
Cuaderna maestra	1,24	20	22,48	0,755	0,248	0,280
Popa bañera	1,24	20	22,48	0,755	0,248	0,280
Espejo popa	1,24	40	42,48	0,755	0,496	1,054

t_s : espesor de la piel exterior; **t_c** : espesor del núcleo (PVC); **t_t** : espesor total del mamparo; **w** : masa de fibra por m^2 ; **SM** : momento resistente para un panel sándwich de un cm de espesor; **I** : momento de inercia para un panel sándwich de un cm de espesor.

El espesor del mamparo que ocupa la posición del espejo de popa es mayor al resto debido a que el motor fueraborda irá sujeto en él. Por lo tanto es necesario un espesor suficiente para que el sistema de sujeción del motor fueraborda no se vea obstaculizado.

En cuanto al espesor de la piel exterior del sándwich, t_s . Es el mínimo alcanzable con una capa de velo de superficie, una capa de fieltro y finalmente una capa de tejido tipo roving. El cual se considera, el mínimo de capas posible.

A continuación se muestra la disposición de los elementos de refuerzo.

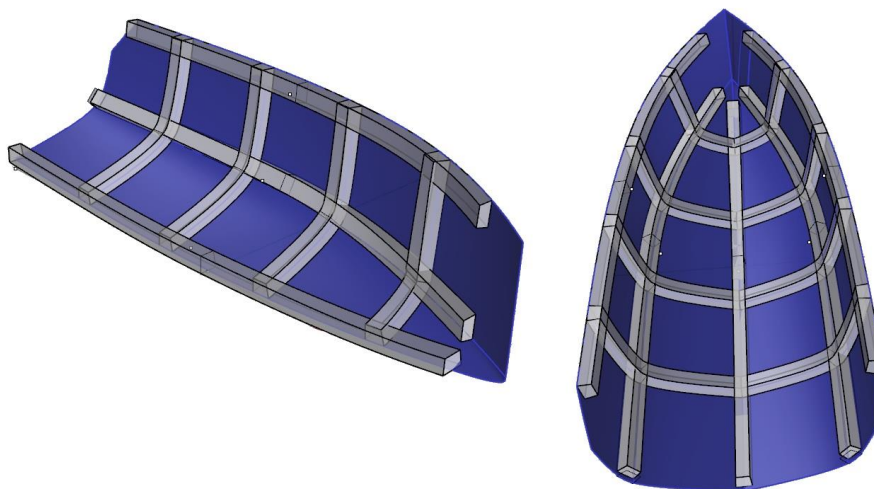


Imagen 31. Ilustración de la disposición de refuerzos

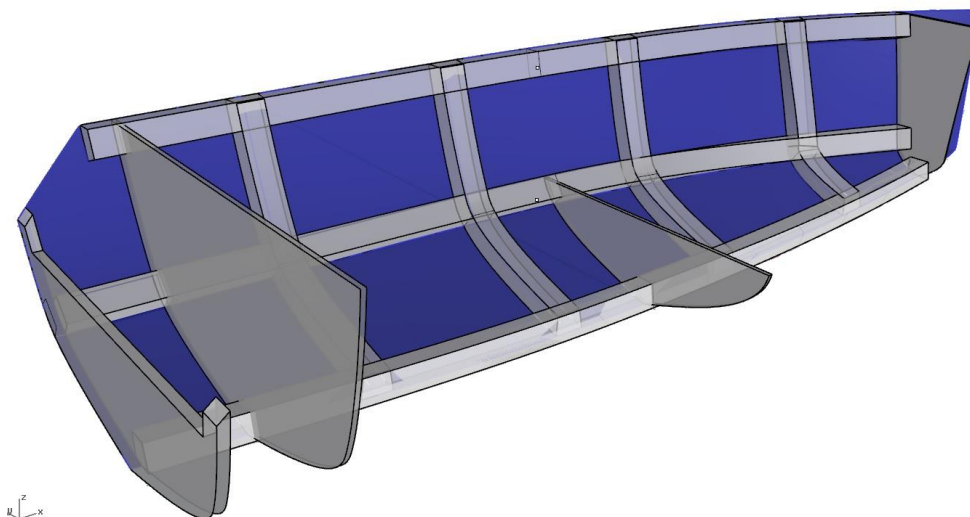


Imagen 32. Ilustración de la distribución de los refuerzos y mamparos

El procedimiento de los cálculos así como los resultados se encuentran en el Anexo D.

5.3 Desplazamiento

A partir de los datos de los cálculos del escantillonado, a continuación se procede a calcular el desplazamiento en rosca de la embarcación y la posición del centro de gravedad. Para ello hay que tener en cuenta los elementos de seguridad que hay que llevar a bordo, obligatoriamente. Además del motor y los elementos que lo envuelven. Y a partir del desplazamiento en rosca, el desplazamiento máximo teniendo en cuenta, a los pasajeros.

NOTA: el sistema de referencia utilizado tiene el punto de origen situado en el punto más a popa posible, a la altura de la línea base, correspondiente al punto más bajo de la quilla. Las direcciones positivas son aquellas cuyo vector de dirección apunta hacia proa, estribor y hacia arriba correspondiente a los ejes X, Y, Z o las distancias LCG, YG y KG.

A continuación se muestran los resultados obtenidos

- Embarcación sin licencia que navega en la zona de navegación 6 (a 2 millas de la costa): Desplazamiento en rosca:

Elemento	P (kg)	LCG (m)	YG (m)	KG (m)
Estructura	179,33	2,05	0,02	0,56
Propulsión	113,80	0,12	0,17	0,71
Equipo	58,12	2,72	-0,13	0,62
TOTAL	351,24	1,53	0,04	0,62

- **Estructura:** corresponde al peso formado por el conjunto de planchas que conforman el casco, refuerzos transversales, refuerzos longitudinales y mamparos.
- **Propulsión:** corresponde al conjunto de elementos que conforman el sistema de propulsión. El motor, la batería y un depósito de combustible de 25L (lleno).
- **Equipo:** corresponde al conjunto de elementos de seguridad que se tienen que llevar a bordo, obligatoriamente.

Como se puede apreciar, el desplazamiento en rosca obtenido es menor al obtenido mediante el estudio de mercado para una embarcación de 5 m de eslora. No obstante es, alrededor de 100 kg más pesado que una embarcación de 4 m. El motor contemplado para el estudio es un Yamaha F15 de 11,0 kW.

Desplazamiento en rosca más la tripulación:

Según la normativa 14946:2001, para determinar la carga máxima, solo queda contemplar (y añadir al peso en rosca) el peso de la tripulación máxima.

Tripulación	P (kg)	LCG (m)	YG (m)	KG (m)
Capitán	75	0,709	0,538	1,071
CL 2	75	1,630	0,619	1,079
CL 3	75	2,500	0,546	1,087
CL 4	75	3,663	0,000	1,097
CL 5	75	2,500	-0,546	1,087
CL 6	75	1,555	-0,623	1,079
Total CL	450	2,093	0,089	1,083

Total CL + Rosca	801,24	1,85	0,068	0,879
CL: Tripulación máxima (Crew Limit)				

*Se ha considerado el centro de gravedad de los tripulantes a la altura de la pelvis, a 20 cm por encima de la superficie donde se esté sentado.

- Embarcación (con licencia) que navega en la zona de navegación 4 (a 12 millas de la costa).

Desplazamiento en rosca:

Elemento	P (kg)	LCG (m)	YG (m)	KG (m)
Estructura	179,33	2,05	0,02	0,56
Propulsión	147,80	0,01	0,17	1,01
Equipo	83,42	2,46	-0,09	0,52
TOTAL	410,55	1,40	0,05	0,71

El motor contemplado para el estudio es un Yamaha F40F de 29,4 kW.

Desplazamiento en rosca más la tripulación:

Tripulación	P (kg)	LCG (m)	YG (m)	KG (m)
Capitán	75	0,709	0,538	1,071
CL 2	75	1,630	0,619	1,079
CL 3	75	2,500	0,546	1,087
CL 4	75	3,663	0,000	1,097
CL 5	75	2,500	-0,546	1,087
CL 6	75	1,555	-0,623	1,079
Total CL	450	2,093	0,089	1,083
Total CL + Rosca	860,55	1,76	0,07	0,90
CL: Tripulación máxima (Crew Limit)				

La diferencia entre las dos opciones reside en el tamaño del motor y en los elementos de seguridad a bordo, cuya diferencia en el desplazamiento en rosca es de aproximadamente 60 kg. Aproximadamente el peso de una mujer adulta.

El procedimiento de los cálculos así como los demás resultados se encuentra en el *Anexo E*.

5.4 Análisis estructural

En este apartado se analiza la resistencia a los esfuerzos de la sección transversal de la estructura del barco. Para ello se analizará la sección media del barco, correspondiente a la sección contenida entre las perpendiculares de popa y proa.

Cuyo perfil es:

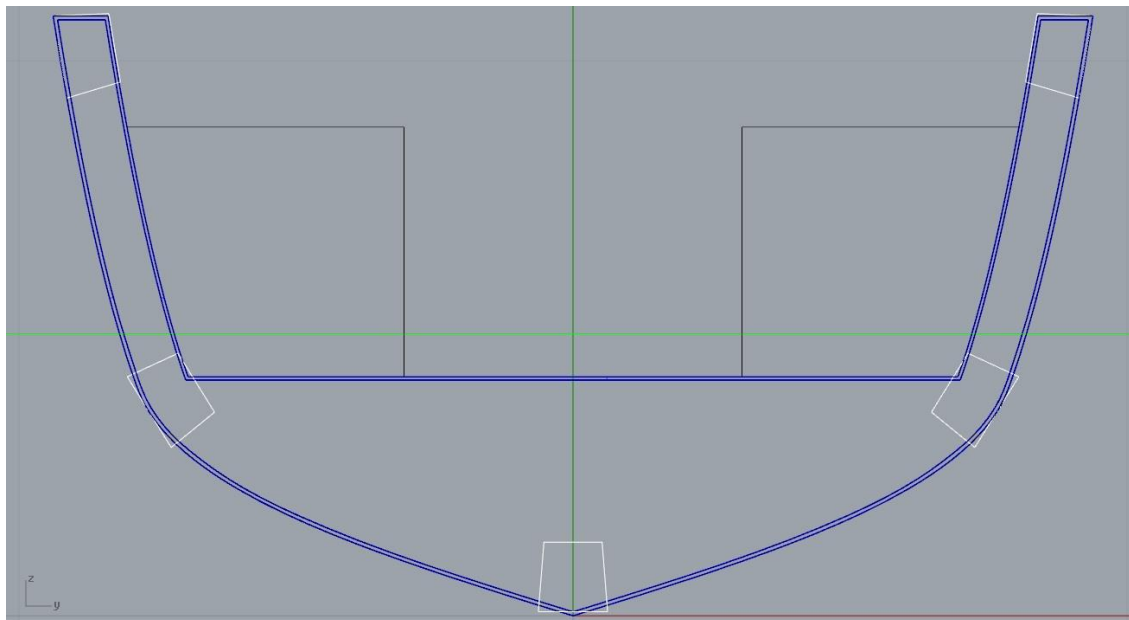


Imagen 33. Sección de la cuaderna media. Perfil realizado mediante Rhinoceros 5.

Como se puede apreciar en la *Imagen 33*, se han dispuesto 2 tipos de refuerzos longitudinales. El refuerzo longitudinal de fondo, correspondiente al refuerzo de la quilla, y finalmente los refuerzos longitudinales de costado, correspondientes a los refuerzos localizados en el pantoque y en la regala. Trazado mediante líneas blancas.

Mientras, el perfil del caso, cubierta y los demás elementos son representados mediante líneas de trazado azul. En los que se ha tenido en cuenta (y representado) el espesor calculado en el apartado 5.2 *Escantillonado*.

Para el análisis de dicha sección se han ignorado los asientos. Que son las líneas de color negro.

Mediante el uso de las opciones que permite Rhinoceros 5 y los pertinentes cálculos se determinan los datos necesarios para la obtención del módulo resistente. Donde la línea horizontal de color verde de la *Imagen 33* indica la altura en la que se encuentra el eje neutro del conjunto.

Los elementos tenidos en cuenta para dicho cálculo son:

Tabla 19

Nº	Elemento	n	A (cm ²)	Z (cm)	I ₀ (cm ⁴)
1	Sección	1	390,50	50,50	366453,37
2	Long. Quilla	1	12,30	6,80	798,00
3	Long. Costado	2	8,40	39,30	502,00
4	Long. Regala	2	8,40	101,50	502,00

n: cantidad del elemento; **A:** área del elemento; **Z:** altura del centro de gravedad del elemento respecto a un punto de referencia; **I₀:** momento de inercia del elemento respecto su propia geometría.

La información de la tabla se ha obtenido mediante la herramienta de análisis de Rhinoceros 5, pero para los refuerzos, tanto el área como el momento de inercia se han obtenido del Anexo G de la normativa sobre escantillado ISO 12115-5.

Mediante los pertinentes cálculos, se obtienen los siguientes resultados en cuanto a los momentos que sufre la embarcación a lo largo de la eslora de flotación, LWL por efecto del arrufo y el quebranto.

Tabla 20. Momentos por arrufo y quebranto

DNVGL - RU - Yacht Pt3Ch3		M_{wv} (Nmm)		M_{wh} (Nmm)	
	Plancha	Quebranto	Arrufo	Quebranto	Arrufo
Fondo	1	4594496	-7520239	1513320	-2476992
	2	13746806	-21385743	4527879	-7043967
	3	19108580	-27985056	6293923	-9217628
	4	20592054	-21237595	6782545	-6995171
	5	13301386	-10530547	4381168	-3468518
	6	9027863	-4254466	2973569	-1401322
	6				
Costado	1	4814592	-7853678	1585815	-2586819
	2	13755977	-21399636	4530900	-7048544
	3	19108580	-27985056	6293923	-9217628
	4	20197716	-20658472	6652659	-6804421
	5	12888707	-9924487	4245241	-3268896
	6	8468453	-3432919	2789312	-1130724
	6				
Cubierta	1	6685405	-10687910	2202017	-3520349
	2	13728465	-21357956	4521838	-7034815
	3	19108580	-27985056	6293923	-9217628
	4	20692931	-21385743	6815771	-7043967
	5	14420206	-12173641	4749681	-4009715
	6	11861594	-8416073	3906934	-2772059
	6				
Valores máximos:		20692931,0	-27985055,5	6815771,3	-9217627,9

Donde:

- M_{WV} : es el momento flector vertical por oleaje, en situación de navegación.
- M_{WH} : es el momento flector horizontal por oleaje

Como se puede apreciar, los valores de quebranto son positivos y los de arrufo negativos, es una cuestión meramente vectorial. En la tabla se puede comprobar que en la zona de la sección media es donde mayor momento flector se sufre. De los cuales el mayor es el resultante del momento flector vertical por oleaje, M_{WV} durante el arrufo. Siendo su valor:

$$M_{WV} = -27.985.055,5 \text{ Nmm}$$

Comparando el esfuerzo que produce dicho momento con el límite elástico que puede soportar la plancha de fibra de vidrio calculado en el apartado 5.2 *Escantillonado*, y en el que se ha aplicado un factor de alivio del 25%, resulta:

$$\sigma_{Mwv} = 3,66 \frac{N}{mm^2}$$

$$E_{0,75} = 7330,58 \frac{N}{mm^2}$$

Por lo tanto:

$$\sigma_{Mwv} < E_{0,75}$$

En comparación con el límite elástico de la plancha de fibra de vidrio, el esfuerzo que sufre la embarcación es aproximadamente 2000 veces menor. Esto es debido a la eslora del casco, puesto que para embarcaciones menores a 24 m de eslora, los efectos del arrufo y el quebranto suelen ser despreciables.

El procedimiento de los cálculos se encuentra en el *Anexo F*.

5.5 Potencia

Para hallar la potencia necesaria o dicho de otra forma, la velocidad que se puede alcanzar con 11,26 kW, es necesario calcular la resistencia al avance del barco. Para ello primero hay que entender los factores que influyen en ella.

Existen múltiples estudios sobre métodos de cálculo para la resistencia al avance de embarcaciones a motor, de los cuales se podrían diferenciar 3 grandes grupos:

1. Métodos experimentales
2. Métodos numéricos
3. Métodos analíticos

Los métodos experimentales como el propio nombre indica, se basa en el estudio mediante ensayos con modelos a escala en un tanque de experiencias hidrodinámicas. Este método presenta unos resultados bastante fiables y se basan en la proporcionalidad entre el comportamiento del futuro diseño con su modelo a escala, utilizando los números adimensionales de Freud (F_n) y Reynolds (R_n). Dicho de otra forma, toda interacción entre el modelo a escala y su entorno, no es más que una representación en miniatura de lo que ocurriría en la vida real. Por contra, este método es demasiado aparatoso y costoso, por lo que se suele reservar en las últimas etapas del proyecto, para confirmar las expectativas formadas durante el proyecto.

Los métodos numéricos son otra alternativa, donde esta se basa en el uso de programas capaces de aplicar la mecánica de fluidos. Básicamente es el uso de ordenadores que realizan cálculos puramente teóricos del comportamiento e interacción entre fluido y embarcación. A partir de un diseño en 3D, el programa crea una malla alrededor del casco formado por nodos, cuanto más nodos se utilicen más específico será el resultado. Y como se ha mencionado antes, mediante la aplicación de la mecánica de fluidos ya sea utilizando la energía potencial o el número adimensional R_n , el programa simula y representa el comportamiento del fluido alrededor de la malla o casco.

Este método presenta la ventaja de poder realizar modificaciones de forma más simple y segura puesto que la evaluación es menos costosa y requiere de un tiempo relativamente más corto y un espacio notablemente más reducido que un canal de experiencias. Por otro lado el uso de estos programas requiere de un usuario experto, debida a la complejidad de estas herramientas. Y el resultado obtenido es puramente teórico por lo que hay que saber interpretar los resultados y juzgar su veracidad.

Por último, los métodos analíticos son métodos basados en el estudio de regresiones. Estas pueden generarse a partir de series sistemáticas de formas, es decir, realizar ensayos experimentales con el modelo inicial acompañado de las copias del modelo pero con variaciones sistemáticas en las características geométricas, el cual implica utilizar el canal de experiencias hidrodinámicas, el cual implica costes. Por otra parte están las regresiones estadísticas, que son fórmulas generadas a partir de ensayos en embarcaciones reales o en modelos a escala. Por supuesto similares o de la misma familia. La ventaja de dicho método radica en su simpleza. A pesar de que realizar los diferentes ensayos y estudios para generar las fórmulas puede ser costoso, una vez obtenida, su uso es gratis y proporciona una idea aproximada de la resistencia del diseño. Método ideal para las etapas iniciales de un proyecto.

Por lo tanto, el método escogido para predecir la potencia de propulsión necesaria será el método analítico basado en las regresiones estadísticas.

Existen varios autores con relación a este tema, los cuales propusieron sus respectivas fórmulas, cada una según el tipo de embarcación estudiada. A continuación se exponen los posibles métodos estadísticos, para este proyecto.

Tabla 21. Métodos estadísticos

Nombre	Rango F_n	Régimen	Tipo embarcación
Holtrop y Mennen	$F_{n_{\max}} < 0.45$	Desplazamiento	Buques monocasco de 1 o 2 hélices
Mercier - Savitsky	$1 \leq F_{n_{\max}} \leq 2$	Planeo	Embarcaciones de planeo o pre-planeo
Blount and Fox	$F_{n_{\max}} \leq 1$	Planeo	Embarcaciones en pre-planeo
Compton	$0 \leq F_{n_{\max}} \leq 0,6$	Desplazamiento	Buques de semiplaneo tipo buque de guerra con gran potencia

Existen muchos más autores, pero por comodidad y sencillez se escogerá entre los mencionados, además estos se pueden contrastar con el programa *Maxsurf Resistance*. Cada autor, como se puede apreciar, enfocó sus estudios para un tipo o familia de embarcación concreta. Desde los grandes buques destinados a la carga y transporte que navegan en régimen de desplazamiento como los portacontenedores, petroleros o remolcadores, pasando por buques pesqueros hasta embarcaciones más veloces, capaces de navegar en régimen de planeo. La diferencia entre ellos reside en el tipo de sustentación que reciben las embarcaciones cuando están en movimiento, cuando predomina la sustentación hidrostática se dice que el barco navega en régimen de desplazamiento, mientras que si la sustentación es mayoritariamente hidrodinámica, es decir, que la teoría de Arquímedes cobra menos protagonismo, se dice que el barco navega en régimen de planeo. Y cuando la sustentación está a punto de entrar en régimen de planeo (sin estar en ella), se dice que el barco se encuentra en un estadio de pre-planeo.

F_n , es un número adimensional que relaciona la velocidad y la eslora de la embarcación. Su uso es determinante en la ingeniería naval, pues es el puente entre un modelo real y su homónimo a escala.

$$F_n(L) = \frac{v}{\sqrt{gLWL}} \quad (1)$$

El número de F_n puede ser calculado a partir de la eslora, como en la ecuación 1 o a partir del volumen de carena, conociéndose como F_n volumétrico, $F_n(\nabla)$.

$$F_n(\nabla) = \frac{v}{\sqrt{g\nabla^{1/3}}} \quad (2)$$

Tabla de resultados con las características de la embarcación a diseñar

Tabla 22. Características de la embarcación

LWL (m)	v (m/s)	F_n
4,935	5	0,72

Las expectativas para el presente proyecto en cuanto a la velocidad de crucero a alcanzar, se espera que sea alrededor de 7 nudos, e idealmente de 10 nudos. Para este rango de velocidades, el método de Holtrop y Mennen es una opción poco precisa, puesto que las características del barco quedan justo ligeramente por encima del rango de aplicabilidad. El cual acabaría proporcionando resultados imprecisos.

En cambio el método de Savitsky es más adecuado para embarcaciones que navegan en un rango de velocidades superior al esperado por la embarcación sin licencia del proyecto. Puesto que está orientado a embarcaciones en régimen de planeo y en cierta medida, el pre-planeo. Sin embargo, si se decidiese aumentar la potencia, con el consiguiente aumento de categoría y especificaciones a cumplir con respecto al de una embarcación sin licencia, el método de Savitsky cobra más sentido.

Por otro lado está el método de Blount y Fox, que consiste en una corrección del método de Savitsky para embarcaciones con pantoque “pronunciado”, el cual proporciona resultados más exactos en embarcaciones navegando en el pre-planeo así como en los primeros estadios del planeo.

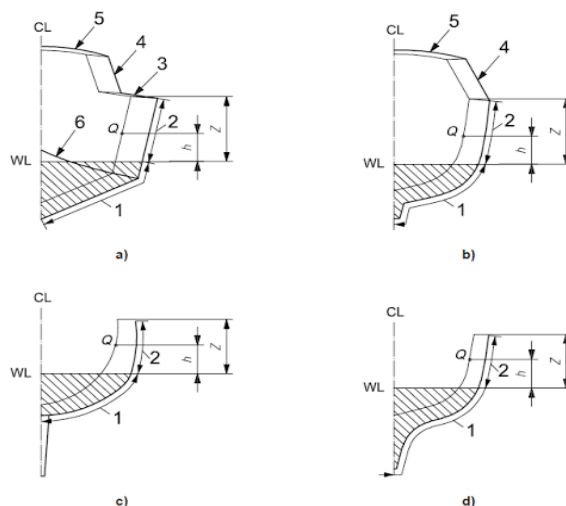


Imagen 34. Ejemplo de pantoques (1). Imagen de la norma ISO 12215

Y finalmente el método de Compton el cual está orientado a buques pesados con una gran potencia instalada que les permite navegar en régimen de pre-planeo y primeros estadios del planeo.

El método a emplear para el presente proyecto será el del Blount y Fox, el cual implica utilizar el método de Savitsky.

La teoría de Savitsky se basa en la asunción de que todas las fuerzas pivotan alrededor del centro de gravedad de la embarcación, donde la principal fuerza de sustentación de la embarcación es la hidrodinámica, es decir la fuerza de presión que realiza el flujo de agua al chocar contra la carena. Con ésta y otros vectores de fuerza que se tienen en cuenta, ilustradas en la siguiente imagen:

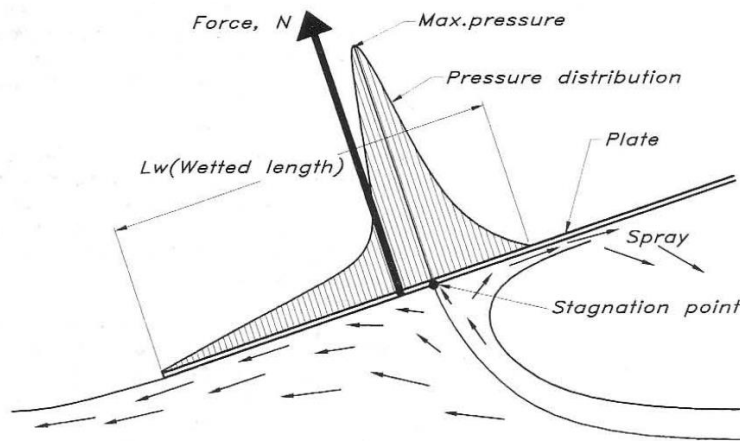


Imagen 35. Ilustración de la fuerza hidrodinámica contra el casco. Del libro *Principles of Yacht Design* de Larsson, Eliasson

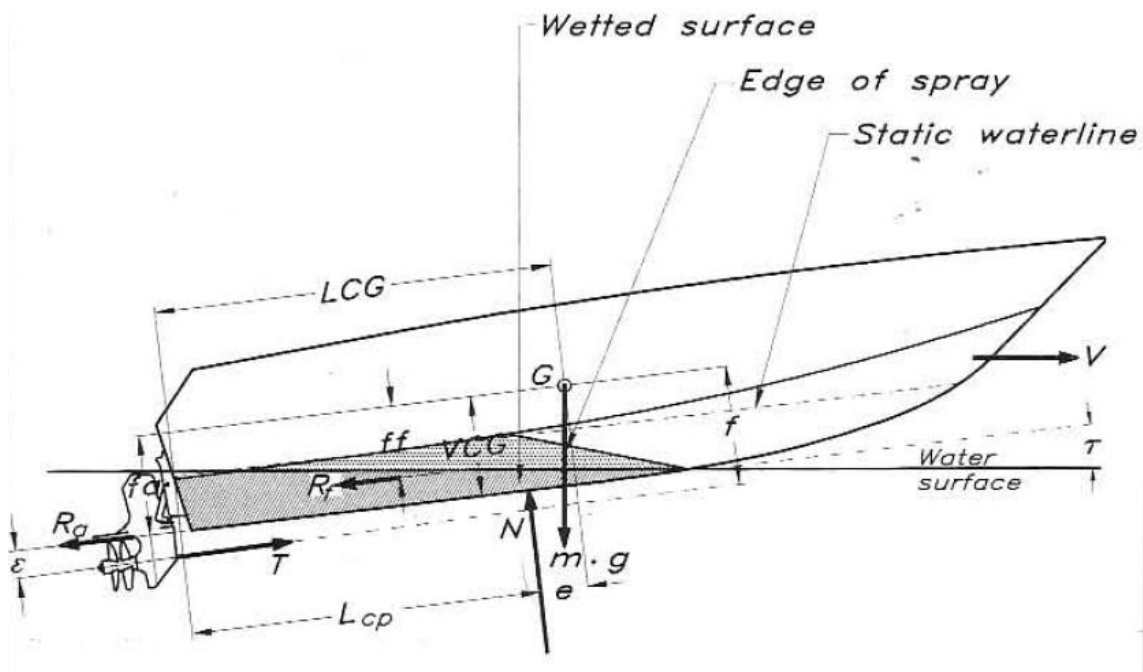
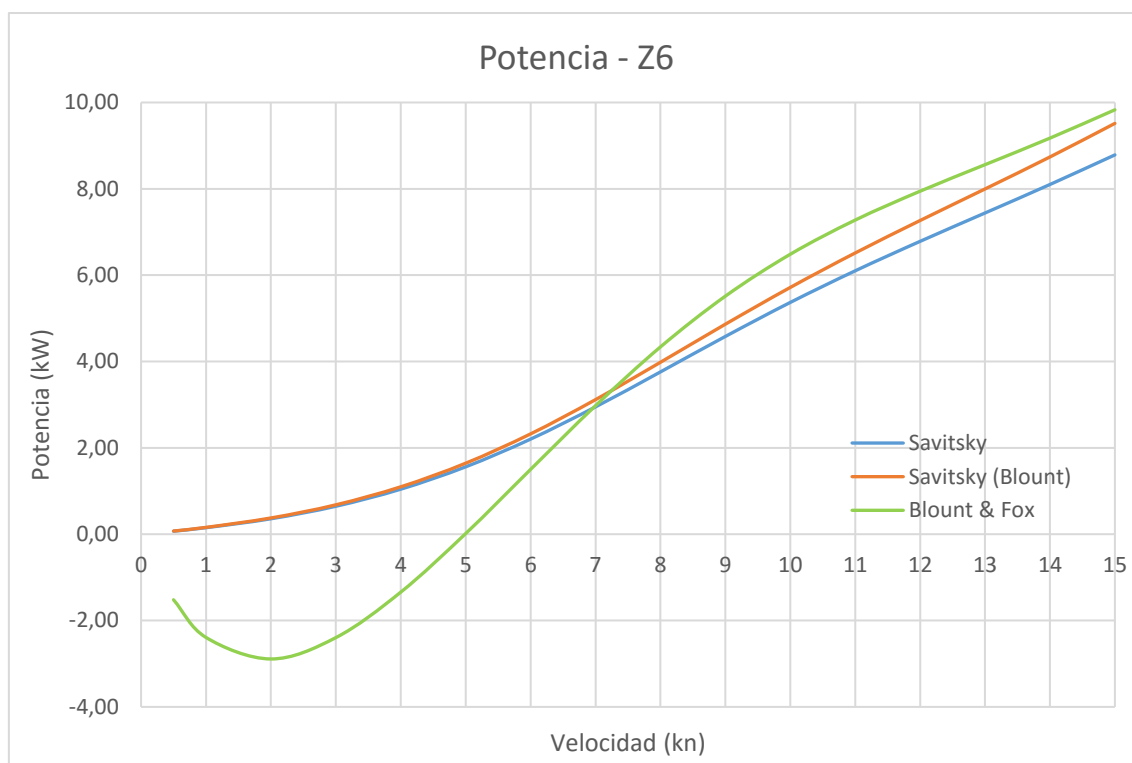


Imagen 36. Ilustración de las fuerzas tenidas en cuenta con el método de Savitsky. Del libro *Principles of Yacht design* de Larsson y Eliasson

Conforman el método de Savitsky, en el que, de forma simplificada, se puede definir como una suma de momentos. Que causan que la embarcación alcance el equilibrio de trimado dada una velocidad v , determinada.

Mientras, la corrección del método de Blount y Fox, fue concebida desde el punto de vista algebraico, en el que se implementaron modificaciones para que la curva de velocidad - potencia descrita, se ajustara más a la realidad. Por lo tanto dichas correcciones no tienen fundamentos hidrodinámicos. Pero la veracidad del método está comprobada mediante ensayos (con embarcaciones diferentes a las utilizadas para realizar el estudio).

A continuación se muestra la gráfica de potencia en condición de máxima carga cuando se navega en la zona de navegación 6, como una embarcación sin licencia. Como se ha calculado en el apartado 5.3 *Desplazamiento*.



En la gráfica se distinguen 3 curvas, la curva de Savitsky donde solo se tiene en cuenta la resistencia al avance del casco (es decir la fricción), la curva de Savitsky (Blount), donde se ha añadido la resistencia al avance por apéndices mediante una fórmula empírica y finalmente la curva de Blount y Fox, que es la representación de la curva de Savitsky (Blount) multiplicado por un factor de corrección.

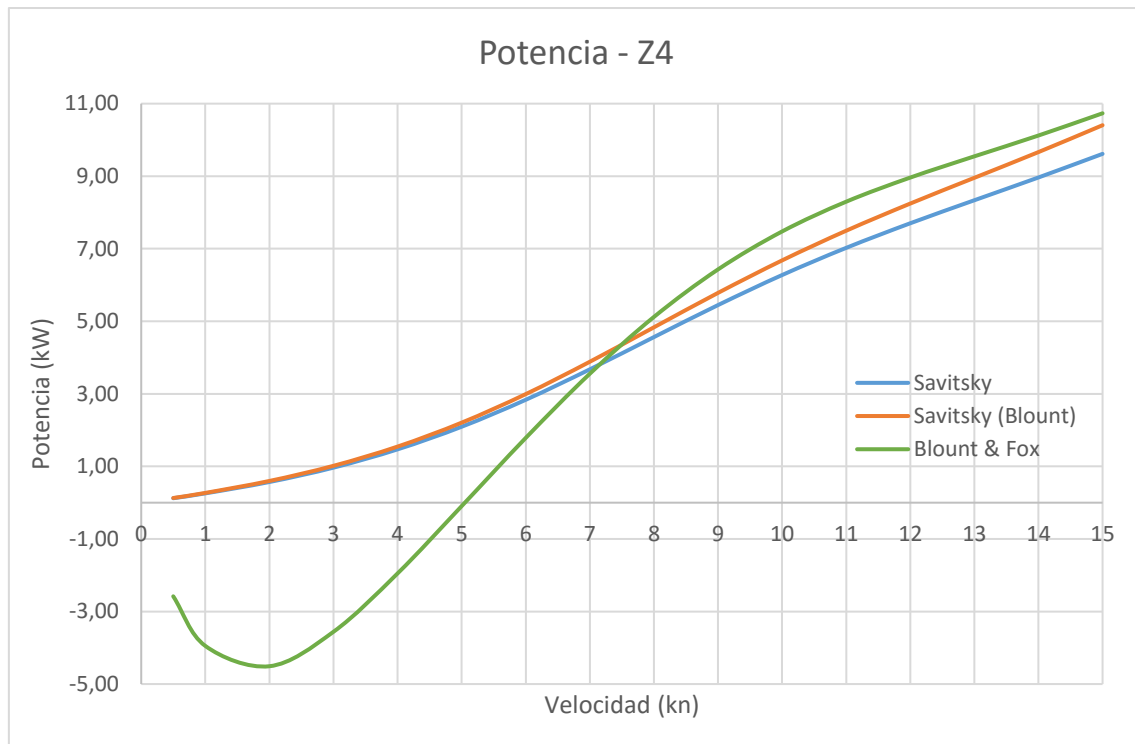
Como se puede comprobar, las curvas descritas por el método de Savitsky (curva azul y naranja), siguen una trayectoria “exponencial”, donde hay que recordar que en los primeros estadios previos al planeo, los resultados no son fiables, por lo que es de esperar que en la realidad se necesite una potencia mayor a la calculada. Dicho error se salva con el método de Blount y Fox, donde en el tramo de velocidades entre 7 y 15 nudos, los resultados obtenidos se acercan más a la realidad, no así en velocidades inferiores a los 7 nudos donde incluso se obtienen valores de potencia negativos, producto del factor de corrección del método, el cual no fue concebido para contemplar velocidades por debajo de $Fn_{\tau} < 1$.

Una vez en el régimen de planeo, que se estima a partir de los 18 - 20 nudos, ambos métodos convergen y proporcionan resultados similares. Básicamente porque el método de Blount y Fox se basa en el método de Savitsky.

Según los resultados obtenidos para 11,26 kW, se pueden alcanzar casi 17 nudos. Resultado obtenido teniendo en cuenta únicamente la forma del casco, apéndices y con el mar en calma, según el método de Blount y Fox.

Es precavido pensar pues, que en la realidad, la velocidad real es considerablemente menor.

En la siguiente gráfica se muestra la potencia necesaria en condición de máxima carga cuando se está navegando en la zona de navegación 6, como una embarcación de potencia superior a las embarcaciones sin licencia. Tal y como se ha calculado en el apartado 3.5 *Desplazamiento*.



La diferencia de potencia necesaria en ambos casos es pequeña. Donde el patrón de las curvas es el mismo a la gráfica de *Potencia – Z6*. Alrededor de los 7 nudos es cuando la curva de Blount y Fox cruza con las otras dos y las sobrepasa. Por lo tanto es después de este entrecruzamiento donde la curva de Blount y Fox proporciona resultados fiables. Donde a valores cercanos a 20 nudos es donde se estima estar en régimen de planeo. Una vez más porque ambos métodos convergen y proporcionan resultados similares.

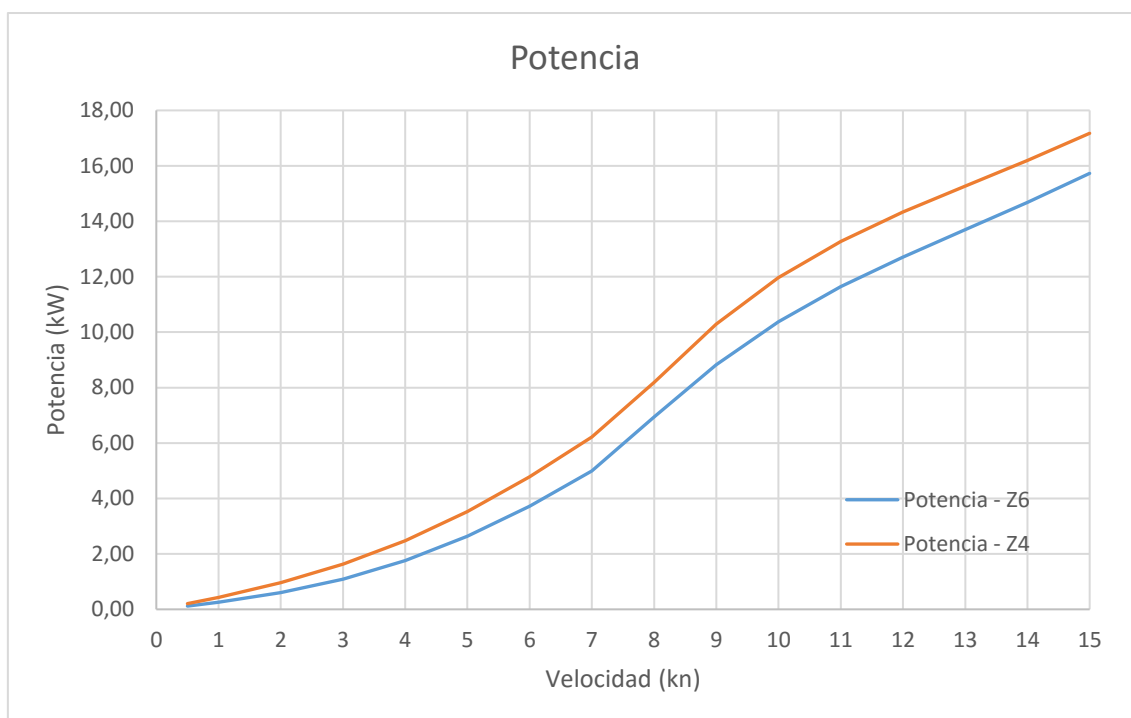
Como la diferencia de desplazamiento entre los dos casos presentados es de 60 kg (pequeña), el pre-planeo ocurre a velocidades similares. Lógicamente, cuanto más ligera sea la embarcación, más pronto alcanzará el pre-planeo. Ello se refleja en el método de Blount y Fox, como se ha dicho, para $F_{nV} = 1$. Por lo tanto, a partir de la ecuación 2 se extrae:

$$v = \sqrt{g \cdot \nabla^{1/3}} \text{ m/s (3)}$$

Para velocidades de la ecuación 3, es cuando empieza el régimen de pre-planeo.

Como se ha mencionado anteriormente, en este estudio no se ha tenido en cuenta factores como las pérdidas de potencia por oleaje, flujos turbulentos alrededor de la popa o el rendimiento del motor, entre otros. Pues la potencia de remolque (potencia real) que sea capaz de proporcionar será la potencia que figura en la ficha técnica del motor escogido menos las pérdidas de los mecanismos de transmisión así como de la propia hélice.

Por lo tanto para representar unas necesidades propulsivas más “realistas” se asume un factor de pérdidas teóricas para simular un caso desfavorable que se refleja en las necesidades propulsivas de ambos casos de la siguiente manera.



En la gráfica se representan las necesidades propulsivas acorde con las curvas de potencia expuestas anteriormente. Multiplicado por un factor de 1,60 (60%), que representan el resto de posibles pérdidas. Sin duda, un escenario bastante pesimista. Pero para asegurar que se cubren con todas las pérdidas posibles.

Los valores correspondientes a la gráfica mostrada se encuentran en la gráfica 22.

Tabla 23

V (kn)	Potencia (kW)	
	Zona de navegación 6	Zona de navegación 4
0,5	0,12	0,21
1	0,25	0,43
2	0,60	0,96
3	1,09	1,63
4	1,76	2,47
5	2,63	3,53
6	3,72	4,79
7	4,99	6,22
8	6,94	8,19
9	8,82	10,29
10	10,38	11,96
11	11,64	13,28
12	12,71	14,34
13	13,69	15,28
14	14,68	16,19
15	15,73	17,17

Todo el proceso de cálculo se detallada en el Anexo G.

5.6 Estabilidad

En este apartado se analiza la estabilidad del diseño bajo las condiciones que demanda la norma UNE-EN ISO 12217-3 detallado en el apartado 3. *Normativa*. Idealmente, esta norma tendría que aplicarse en un ensayo real, pero para el presente proyecto se realizarán dichas pruebas mediante cálculos.

Por lo tanto también se han reinterpretado las especificaciones como tal. Y es por eso que solo se han realizado las pruebas de cálculo para una sola banda (estribor). Puesto que al lidiar solo con datos numéricos alrededor del plano de crujía, los resultados serían prácticamente iguales en ambas bandas al tratarse de un cuerpo (casi) simétrico. Además en la banda de estribor es donde se encuentra la consola de mandos, por lo tanto, colocar los pesos en este costado es donde causará resultados más desfavorables.

Los requisitos seguidos son los correspondientes a la opción 1 de la tabla 3 de la norma sobre estabilidad mencionada. Que se puede consultar en el *Anexo B*. Para el reconocimiento de las capacidades de estabilidad y flotabilidad necesarias para navegar en la zona de navegación 4 y poder clasificarse con la categoría de diseño C si así se deseara.

Tabla 3
Ensayos a realizar para las embarcaciones no propulsadas a vela

Opción	1 ^a	2	3 ^a	4	5	6 ^a
Aplicables a los cascos de eslora	Hasta 6,0 m			Desde 4,8 m hasta 6,0 m		
Categorías de diseño posibles	C y D	C y D	D	C y D	D solamente	C y D
Aplicable a motores de una potencia de	Cualquiera	Cualquiera	< 3 kW	Cualquiera	Cualquiera	Cualquier tipo
Aplicable a los siguientes tipos de instalación de motores	Cualquier tipo	Cualquier tipo	Cualquier tipo	Cualquier tipo	Cualquier tipo	Motores intraborda solamente
Cubiertas o protecciones	Cualquiera	Cubierta completa ^b	Cualquiera	Cubierta parcial ^c	Cualquiera	Cualquiera
Ensayo de la altura de inundación	6.2 ^d	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2
Ensayo de compensación de cargas	6.3	6.3	—	6.3	6.3	6.3
Grado de flotación	A nivel	—	véase el apartado 6.6	—	—	Básico
Ensayo de flotación	6.4	—	véase el apartado 6.6	—	—	6.5
Elementos de flotación	Anexo C	—	Anexo C	—	—	Anexo C
Ensayo de recuperación después del vuelco	—	—	6.6	—	—	—

^a Se considera que las embarcaciones que utilicen las opciones 1, 3 y 6 son susceptibles de llenarse de agua cuando se utilicen en su categoría de diseño.

^b Este término se define en el apartado 3.1.5.

^c Este término se define en el apartado 3.1.6.

^d No se requiere efectuar este ensayo si, al inundarse durante el ensayo descrito en el apartado 6.4, la embarcación puede soportar un peso seco equivalente al 133% de la carga máxima total, o si la embarcación no se llena de agua cuando se escora hasta 90° desde la posición de adrizada estando en la condición de rosca.

Imagen 37. Tabla 3 de la norma sobre evaluación y clasificación de la estabilidad y flotabilidad. ISO 12217-3.

A continuación se muestran los resultados obtenidos en función del ensayo. Siendo estos los nombrados según el apartado de la normativa, en la primera columna de la *Tabla 24*.

Tabla 24.

Ensayos	Tripulantes	h (m)	h máx. (m)	Fr (m)	Fr mín. (m)
6.2.2	6	0,189	> 0,1	0,8	> 0,1
6.2.3	1	0,208	> 0,1	0,8	> 0,1
6.3.2.4	1	0,203	> 0,1	0,7	> 0,1
6.3.2.6	2	0,206		0,6	0,1
	3	0,195		0,5	0,1
	4	0,204	> 0,1	0,4	> 0,1
	5	0,217		0,5	0,1
	6	0,212		0,6	0,1

En la *Tabla 24* aparecen 4 ensayos, cada uno simulado con un número de tripulantes determinado. En el que se han considerado adultos con un peso de 75 kg (como demanda la normativa). Distribuidos a lo largo de la cubierta según exige la normativa.

Los ensayos son:

- Ensayos de altura de inundación con la carga máxima: 6.2.2 y adicionalmente solo para embarcaciones con motor fueraborda, 6.2.3.
- Ensayo de compensación de pesos: 6.3.2.4 y 6.3.2.6.

Para cada caso (fila) se ha calculado la altura h , correspondiente a la distancia entre la superficie del agua y el orificio más cercano por el que puede entrar agua. Es decir, la altura del desagüe respecto al nivel del agua. Y el francobordo Fr en el costado de estribor, tras la embarcación quedar finalmente en equilibrio, con una escora determinada.

La altura del desagüe en cada caso no debe ser menor a 0,1 m. Y la altura de francobordo tampoco debe ser menor a 0,1 m.

La distribución de las personas según el ensayo es la siguiente:

Se representa el centro de gravedad de cada persona mediante un círculo.

Ensayo 6.2.2

Se disponen a los tripulantes de forma que se alcance el asiento de diseño. Es decir, distribuidos de forma normal, para navegar.

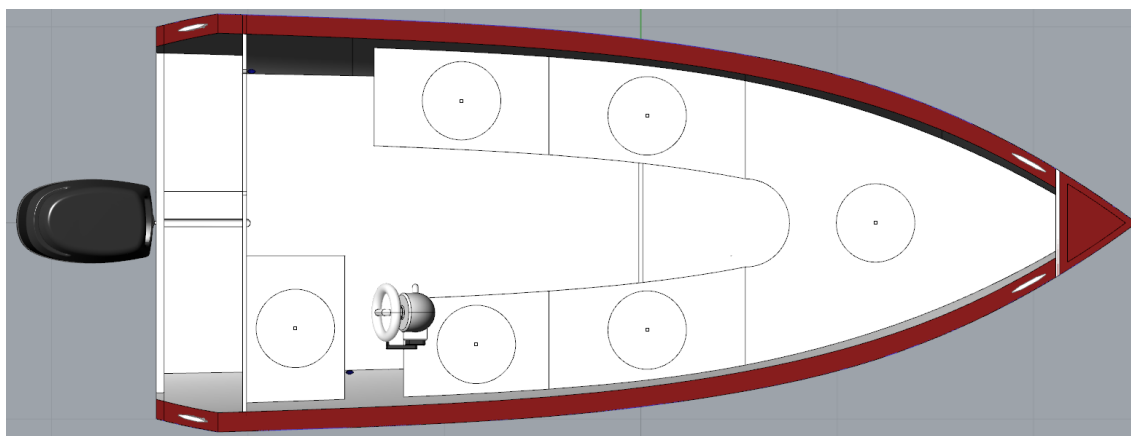


Imagen 38. Distribución de los tripulantes para el ensayo 6.2.2.

Ensayo 6.2.3

Se dispone a una persona sobre la crujía a 0,5 m del punto de anclaje del motor.

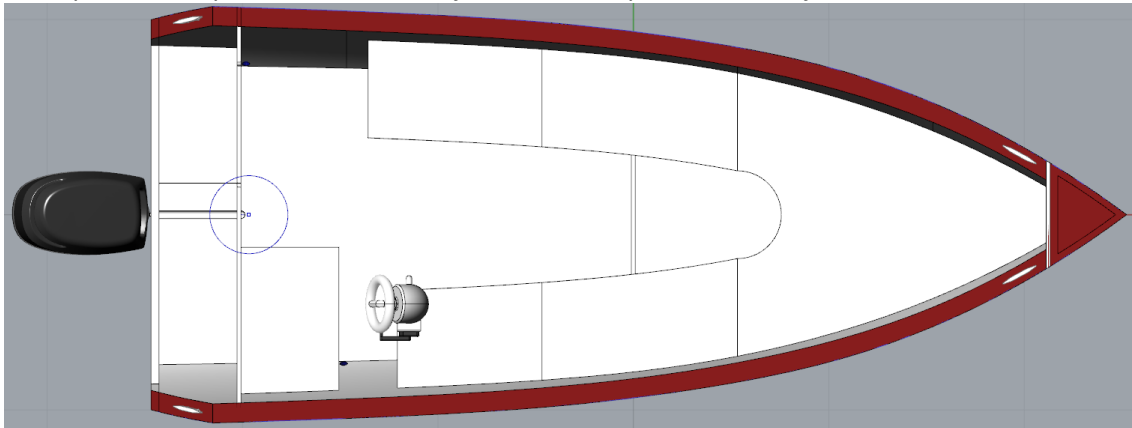


Imagen 39. Distribución de los tripulantes para el ensayo 6.2.3.

Ensayo 6.3.2.4

Se dispone a un tripulante, operando. Situado lo más lejos de un costado pero no más cerca de 0,25 m del costado opuesto.

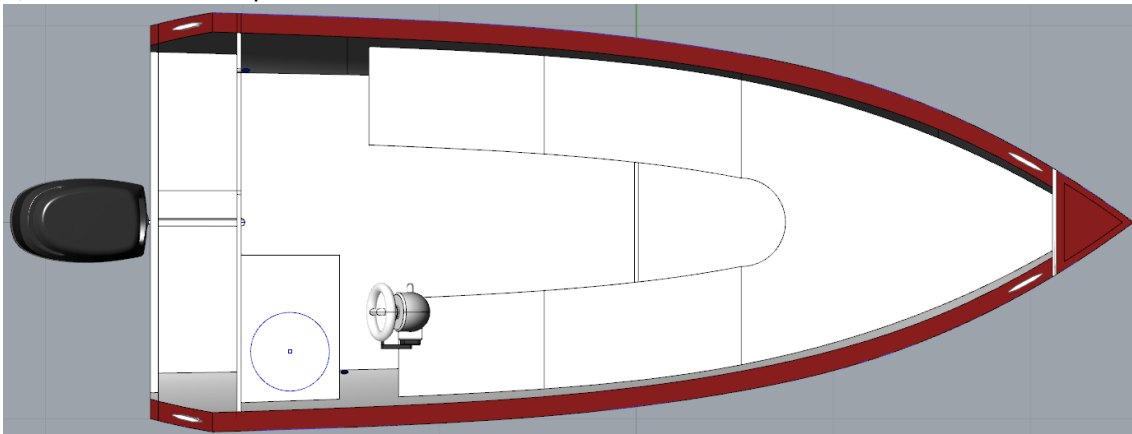


Imagen 40. Distribución de los tripulantes para el ensayo 6.3.2.4.

Ensayo 6.3.2.6

Este ensayo precede al anterior, donde primero se ensaya con 2 personas operando (1 y 4). Luego para 3 personas (1, 2 y 4). Luego para 4 personas (1, 2, 3 y 4). Luego para 5 personas (1, 2, 3, 4 y 5). Y finalmente para 6 personas.

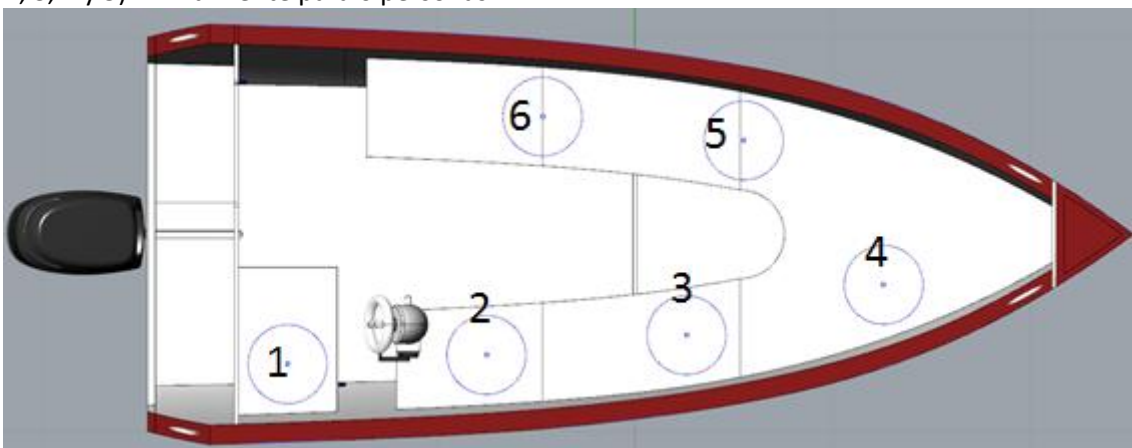


Imagen 41. Distribución de los tripulantes para el ensayo 6.3.2.6.

Finalmente, se realizan 2 ensayos más que complementan con los anteriores para así finalizar los requisitos que se deben cumplir para obtener la acreditación de la categoría de diseño C.

Estos se encuentran en el Anexo B de la normativa 12217-3. Que son:

- **B.3 Ensayo de estabilidad en el agua**

Consta de 4 casos, 2 por banda, pero como ya se ha comentado, solo se considerará la banda de estribor. Se debe colocar en la embarcación en rosca los siguientes pesos.

Tabla 25.

Caso	Peso (kg)	Posición		
		X (m) ^a	Y (m) ^b	Z (m) ^c
Común en ambos	20,86	2,500	0	0,437
Caso 1	36,00	1,670	1,011	1,080
Caso 2	36,00	3,322	0,791	1,087

^a: posición longitudinal a lo largo de la eslora. A proa positivo.
^b: posición transversal perpendicular a crujía. A estribor positivo.
^c: posición vertical. Hacia arriba positivo.

Donde la posición de los pesos obedece al siguiente esquema.

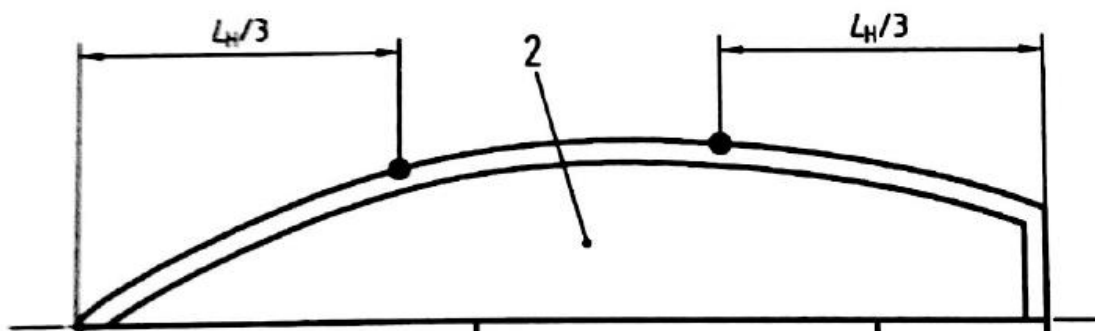


Imagen 42. Ilustración de la posición de los pesos de ensayo de 36 kg.

Donde:

2: Cubierta

A continuación a la altura de $L_H/2$ se aplica una fuerza sobre la regala hasta que el punto de la regala más alejada de crujía (seminanga máxima) este a 0,15 cm por debajo de la superficie del agua. En un ensayo real habría que dejar que el agua inunde toda la superficie que pueda alcanzar durante el tiempo que haga falta o 5 min si este es menor antes de soltar la embarcación.

Una vez liberada la embarcación ésta debe quedar con una escora menor a 45° .

Tras los cálculos pertinentes se obtienen los siguientes resultados.

Tabla 26.

Caso	Escora	$< 45^\circ$
Caso 1	40,44	CUMPLE
Caso 2	39,65	CUMPLE

El procedimiento para la obtención de dichos resultados es el siguiente:

- Tras hallar mediante Maxsurf Modeler el calado de la embarcación con los pesos correspondientes a cada caso, mediante el programa Rhinoceros 5 se halla el centro de flotación, que es el punto central de las escoras y cabeceos. Y mediante el mismo programa se realizan los siguientes puntos.

- Entonces se escora la embarcación respecto dicho centro hasta que la semimanga máxima alcance los 0,15 cm bajo el nivel del agua.

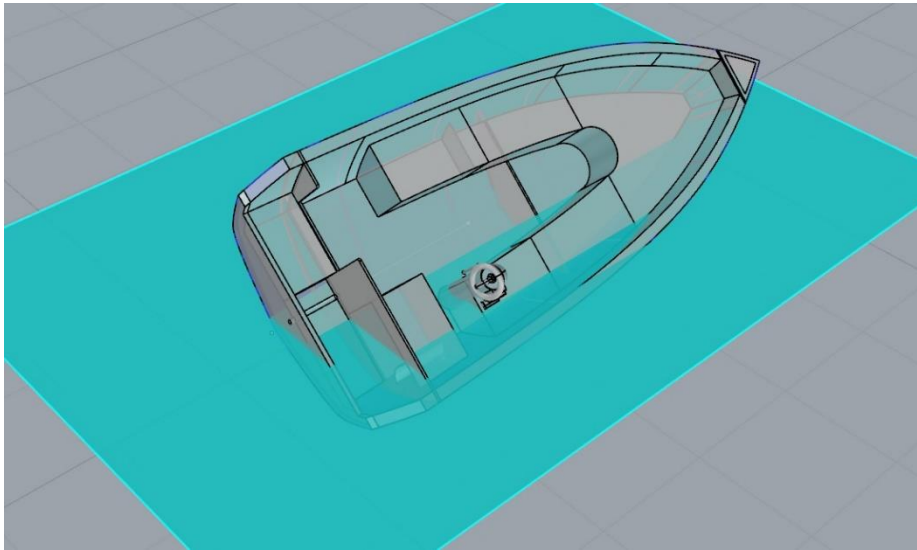


Imagen 43. Ilustración de la embarcación escorada según el caso 1. Mediante Rhinoceros 5.

En la *Imagen 43*, la escora alcanza hasta los $44,68^\circ$.

- Se halla el volumen de agua embarcada. Considerando el peor de los casos, que esta no se va a desembarcar por los desagües.

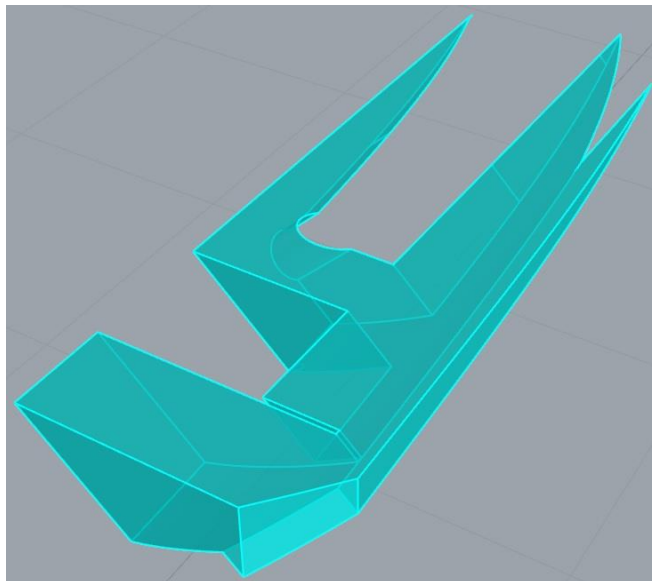


Imagen 44. Volumen de agua embarcada. En el caso 1.

En la *Imagen 45* no solo se ha tenido en cuenta el volumen de agua embarcada sino que también se ha tenido en cuenta la columna de agua encima de la superficie del barco. El volumen es de $0,229 \text{ m}^3$.

- Se calcula la escora resultante teniendo en cuenta los pesos previos más el peso del agua embarcada.

El punto elegido para la aplicación del peso del agua en ambos casos es:

Tabla 27.

Peso (kg)	Posición		
	X (m)	Y (m)	Z (m)
Agua embarcada	2,5	0,934	1,087

Correspondiente al borde de la regala a una distancia longitudinal de $L_H/2$. El cual es inverosímil. Y deja la estabilidad de la embarcación en un estado muy desfavorable.

Para comprobar si la embarcación es capaz de adrizarse, se comparan los momentos escorantes causados por el peso de la propia embarcación en rosca, más los pesos añadidos según el caso y el peso del agua embarcada frente al momento adrizante causado por el empuje contenido en el volumen de carena (*Imagen 45*). Todos respecto al nuevo centro de flotación, tras la escora.

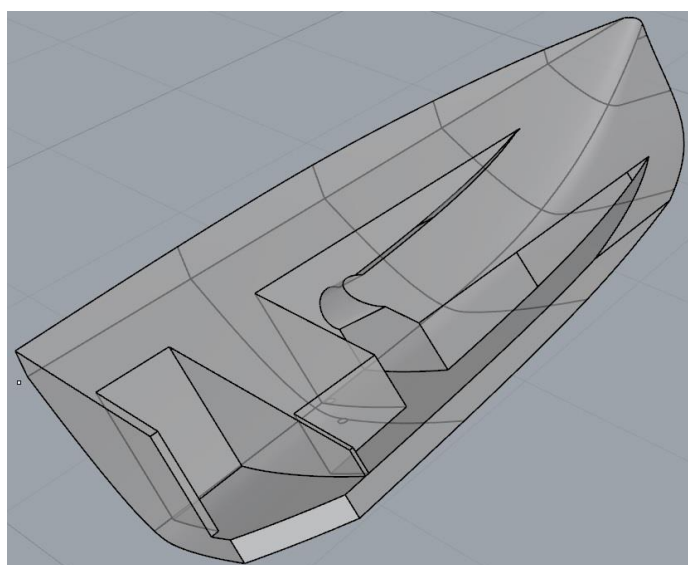


Imagen 45. Volumen de carena (considerado estanco). En el caso 1.

El volumen de agua desplazada es de $1,433 \text{ m}^3$.

Tabla 28

Cálculo del momento escorante

Elemento	Peso (kg)	dCF (m)
Peso en rosca + pesos de ensayo	467,41	0,096
Peso de agua embarcada	235,55	0,511
Momento escorante	Me	165,23 kg m

Tabla 29

Cálculo del momento adrizante

Elemento	Peso (kg)	dCF (m)
Volumen de carena	1468,83	0,140
Momento adrizante	Ma	205,64 kg m

Donde

dCF: es la distancia del centro de volumen del elemento tenido en cuenta respecto al centro de flotación.

Sabiendo que la embarcación tiene la capacidad de adrizarse, se considera viable afrontar el cálculo de la escora final como un problema de traslado de pesos. Y por lo tanto fiable, los resultados obtenidos en la *Tabla 26*.

• B.4.3 Ensayo de carga

Este ensayo consta de una sola prueba cuyo procedimiento es similar al anterior con la diferencia en los pesos de ensayo y su posición. Por lo tanto el procedimiento de cálculo seguido es el mismo a los descritos en el apartado anterior.

Para poder superar este ensayo, la embarcación debe flotar a un nivel aproximado que mantenga más de los dos tercios de la eslora de la parte superior de la regala por encima del agua.

Los pesos de ensayo son:

Tabla 30.

Caso	Peso (kg)	Posición		
		X (m) ^a	Y (m) ^b	Z (m) ^c
Caso 1	20,86	2,500	0	0,437
Caso 1	150	2,181	1,011	0,434

^a: posición longitudinal a lo largo de la eslora. A proa positivo.
^b: posición transversal perpendicular a crujía. A estribor positivo.
^c: posición vertical. Hacia arriba positivo.

Tras aplicar una fuerza que escore el barco hasta que la semimanga máxima este 0,15 m por debajo del agua. Se libera la embarcación con una escora de 43,98°.

Tabla 31

Cálculo del momento escorante

Elemento	Peso (kg)	dCF (m)
Peso de agua embarcada	247,33	0,511
Momento escorante	Me	126,39

Tabla 32

Cálculo del momento adrizante

Elemento	Peso (kg)	dCF (m)
Volumen de carena	1468,83	0,140
Peso en rosca + pesos de ensayo	581,41	0,029
Momento adrizante	Ma	205,64 kg m

En este caso, la posición del centro de gravedad de la embarcación más los pesos de ensayo favorece al adrizamiento. Debido a que esta vez, la altura del centro de gravedad es más bajo que en los ensayos del apartado anterior.

Finalmente la escora final que adopta la embarcación tras liberarlo es de 27,96°.

Con tal escora, se asume que la embarcación queda a flote con más de dos tercios de la eslora de la parte superior de la regala, por encima del agua.

En todos los ensayos se ha partido con una condición de desplazamiento en rosca, correspondiente al requerido para la nevagación de la zona 4. Calculado en el apartado 5.3 *Desplazamiento*.

Todo el proceso de cálculo está detallado en el *Anexo H*.

6. Optimización

Para la optimización del diseño se ha empleado un método muy común en el mundo del diseño y la ingeniería, la espiral de diseño. Donde a partir de un diseño preliminar se ha determinado los diferentes detalles según el departamento.

A continuación se describen las optimizaciones que se han realizado hasta llegar con los resultados obtenidos en el apartado 5. *Diseño*.

La disposición de los asientos no ha variado mucho en cuanto a la distribución, pero si se ha ido optimizando el espacio, variando la superficie de cubierta y las superficies de los asientos. En todo momento teniendo en cuenta ciertos criterios en cuanto a la ergonomía.

Tomando las siguientes medidas según la fuente utilizada sobre el estudio de la ergonomía y utilizando como referencia a una embarcación Compass GT400, es como se ha diseñado las dimensiones de los asientos de la embarcación del proyecto.

MEDIDA	HOMBRES				MUJERES			
	Percentil				Percentil			
	5	95	5	95	5	95	5	95
A Altura poplitea	15.5	39.4	19.3	49.0	14.0	35.6	17.5	44.5
B Largura nalga-popliteo	17.3	43.9	21.6	54.9	17.0	43.2	21.0	53.3
C Altura codo reposo	7.4	18.8	11.6	29.5	7.1	18.0	11.0	27.9
D Altura hombro	21.0	53.3	25.0	63.5	18.0	45.7	25.0	63.5
E Altura sentado, normal	31.6	80.3	36.6	93.0	29.6	75.2	34.7	88.1
F Anchura codo-codo	13.7	34.8	19.9	50.5	12.3	31.2	19.3	49.0
G Anchura caderas	12.2	31.0	15.9	40.4	12.3	31.2	17.1	43.4
H Anchura hombros	17.0	43.2	19.0	48.3	13.0	33.0	19.0	48.3
I Altura lumbar	Véase nota							

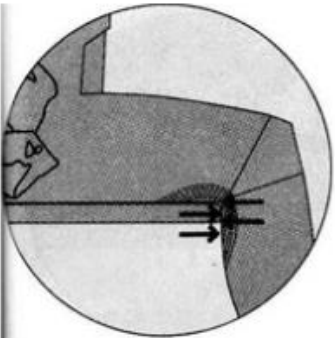


Imagen 46. Medidas adecuadas para el diseño de sillas ergonómicas.

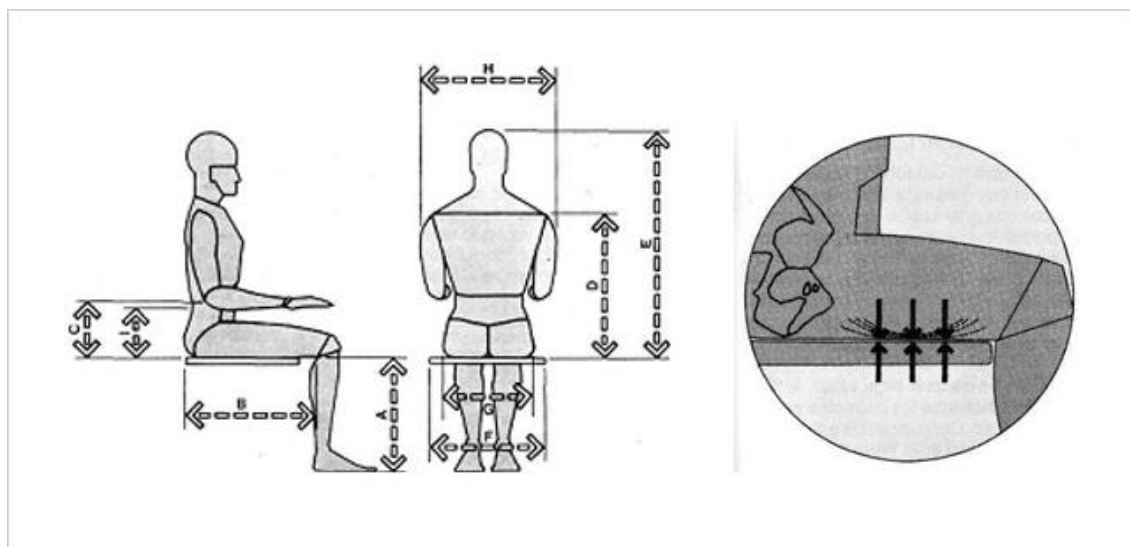


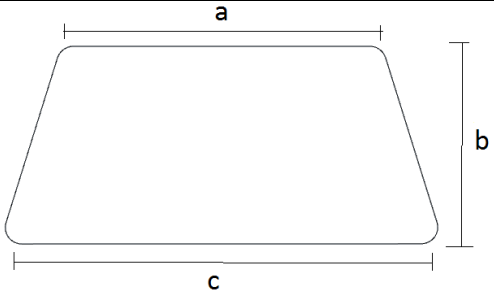
Imagen 47. Ilustración de las longitudes para el diseño de sillas ergonómicas.

Para mayor exactitud, se ha tomado las medidas de la siguiente embarcación, como referencia a la hora de diseñar las diferentes partes de la embarcación.



Imagen 48. Embarcación Compass GT400 de 4 m de eslora.

Tabla 33. Medidas tomadas de la embarcación Compass GT400

Zona	Elemento	Medidas (cm)	
Espejo de popa	Altura del espejo de popa desde la quilla.	55	
	Distancia entre eje de la hélice y borde superior del espejo de popa.	74	
	Espesor del espejo de popa	4	
	Espacio que ocupa el motor fueraborda cuando no está en uso.	36	
Asientos	Altura	45	
	Ancho (espacio ocupado por tripulante)	50	
	Profundidad	40	
Tapa del pozo de ancla		a	39
		b	24
		c	54
Borda	Espesor de la regala	11	
Desagües	número	1	
	diámetro	4	
	longitud	72	
	Posición: alineado con línea de crujía, en popa.	-	

Sistema de autovaciado

Inicialmente no había obertura para acceder a la bañera desde popa, por lo que si embarcase agua, ésta se inundaría hasta la regala. El principal problema con este diseño es la cantidad de agua embarcada, cerca de 2 m^3 de agua, es decir alrededor de 2 toneladas, hecho que causaba que las especificaciones mínimas que dictaba la normativa para los desagües (circulares) fuese de entre 70 mm u 80 mm de diámetro.

Considerando que desagües de tal dimensión, es desproporcionado, teniendo en cuenta la eslora de la embarcación y sobretodo que otras embarcaciones similares no necesitan ni la mitad de diámetro que el requerido por lo normativa aun teniendo el mismo número de desagües.

Con el objetivo de reducir el tamaño del desagüe, las vías consideradas son, la reducción del volumen de agua que la bañera es capaz de albergar y/o aumentar el número desagües.

Tras analizar el funcionamiento de la normativa, se ha determinado que, cuanto más volumen de agua es capaz de albergar la bañera, en menos tiempo te obliga la normativa en ser capaz de desalojarla, significando en desagües de mayor tamaño y viceversa. Donde volúmenes de agua de entre $0,8 \text{ m}^3$ y 1 m^3 demandaban diámetros de entre 50 mm y 60 mm. Todo a costa de reducir la altura de la regala (y por lo tanto del puntal) a limites que ya no se consideraban en sintonía con el criterio de ergonomía establecido.

Finalmente se ha implementado un panel de popa de bañera con una apertura para rebajar el borde de entrada de agua en caso de inundación. Y con la doble función de acceso a la escalera situada a popa (al lado del motor).

De esta forma se deja la regala a una altura ergonomicamente aceptable como apoyo lumbar para los tripulantes que estén sentados.

También se ha reducido el nivel de pendiente de la cubierta, donde previamente tenía 1° de inclinación. Con la intención de rebajar el puntal.

Y también se ha proporcionado a los asientos con el mismo grado de pendiente que la cubierta, para facilitar el flujo de agua hacia popa durante el baldeo y también para mantener la altura de los asientos a lo largo de la eslora.

Escantillonado

Como un mamparo o refuerzo tipo “omega” es un elemento compuesto por diferentes elementos, en este caso, fibra de vidrio y PVC, la determinación de sus propiedades geométricas mediante simples cálculos teóricos, es complicado. Ya que tanto el módulo resistente como el de inercia, no es homogéneo en toda la sección, y hay que tener en cuenta la zona de unión entre ambos materiales. Por lo que se ha recurrido al uso de las medidas tabuladas, especificadas en la normativa sobre escantillonado ISO 12215-5. Por lo que no se ha podido evitar un sobredimensionamiento de algunos elementos estructurales.

Sin embargo, sin duda la disminución de las dimensiones de algunos elementos estructurales a tamaños más proporcionales a los esfuerzos esperados, es una forma de optimizar el desplazamiento.

Desplazamiento

La obtimización del desplamiento reside principalmente en el diseño. Es decir en la cantidad de superficie empleada, que más tarde se traduce en la cantidad de material de laminación que habrá que emplear.

Pero una vez alcanzado el desplazamiento conveniente o el mínimo posible, ello no se traduce en el más óptimo. Para embarcaciones de misma eslora y desplazamiento e incluso de forma del casco, parte de su “buen” rendimiento recae en la posición del centro de gravedad. El cual ha de posicionarse adecuadamente con respecto al centro de carena.

Por lo tanto la distribución de los diferentes elementos, tanto estructurales como no estructurales ha sido constante con tal de aproximar el centro de gravedad al plano de crujía y a la eslora entre perpendiculares.

Potencia

Puesto que el método de Blount y Fox no es más que un método cuya base teórica (en cuanto a criterios hidrodinámicos se refiere) recae en gran medida en el de Savitsky, mediante la optimización de la curva de potencia de Savitsky se optimizará por consiguiente la curva de Blount y Fox.

Para ello se varían los parámetros de entrada del método de Savitsky, de los cuales se distinguen y agrupan de la siguiente forma:

- Formas del casco: son aquellos parámetros que afectan a la forma del casco.
 - **b** : manga entre pantoques o raíles
 - **β** : ángulo de astilla muerta
- Distribución del peso:
 - **LCG** : distancia longitudinal del centro de gravedad respecto a un punto origen.
 - **VCG** : distancia vertical del centro de gravedad respecto a un punto origen.
 - **m_{LDC}** : desplazamiento en condición de máxima carga.

Estos parámetros están relacionados entre ellos, donde un aumento o disminución del desplazamiento altera automáticamente la posición del centro de gravedad. Así como la distribución de pesos en la cubierta.

- Propulsión: son los parámetros que alteran la posición del motor y por consiguiente el vector de empuje (de la hélice).
 - **f** : el brazo o distancia perpendicular al eje de la hélice hasta el centro de gravedad.
 - **ϵ** : grado de inclinación entre el eje de la hélice y la línea base.

Para la optimización de las formas del casco, se ha determinado que disminuir b disminuye la superficie de carena y por lo tanto la resistencia por fricción, el cual deriva en menor necesidad de potencia. Disminuir β también reduce la potencia de propulsión necesaria, no obstante, aumenta la resistencia por fricción en rangos de velocidad bajas (< 8 kn). Disminuir estos dos parámetros alteraría el espacio habitable de la embarcación y afectaría a la estabilidad.

En cuanto a la distribución del peso, obviamente cuanto menor desplazamiento tenga una embarcación menor potencia de propulsión demandará y viceversa, pero para casos de desplazamiento constante, la variación longitudinal del centro de gravedad, LCG tiene una notable repercusión en las necesidades propulsivas. Donde cuanto más próximo a la sección media menor potencia. En cuanto a VCG , se ha comprobado que su alteración no deriva en cambios de la necesidad de potencia relevantes. No obstante elevar el centro de gravedad conlleva consecuencias negativas en cuanto a la estabilidad, a pesar de que reduzca ligeramente la potencia necesaria.

A continuación se muestra una tabla comparativa con los resultados obtenidos con el método de Savitsky. Donde únicamente se ha variado VCG . Para un rango de velocidades de entre 8 y 10 nudos. Dada una embarcación con las siguientes características.

m_{LDC}	956,5	Kg
LCG	2,191	m
b	1,67	m
ϵ	5	º
β	16,43	º
f	0,764	m

Tabla 34

VCG (m)	0,35		0,44		0,55	
v (kn)	R_f (N)	P (kW)	R_f (N)	P (kW)	R_f (N)	P (kW)
8	230,110	3,21	226,207	3,20	231,037	3,19
9	269,000	4,17	266,401	4,16	270,191	4,14
10	307,356	5,17	307,793	5,16	308,983	5,14

Como se puede observar, variaciones de VCG de aproximadamente ± 10 cm no parece afectar mucho a las necesidades propulsivas

En el método de Savitsky, la variación de VCG supone la variación de los diferentes brazos de las respectivas fuerzas que componen los momentos que se tienen en cuenta.

Finalmente, en cuanto a la propulsión, la variación del ángulo ϵ en rangos de $\pm 2^\circ$ no resulta en variaciones relevantes de potencia. En cambio para la distancia f , cuanto menor es esta, menor potencia es necesaria y viceversa. No obstante hay que tener en cuenta si se obstaculiza el flujo que recibe la hélice. Donde la modificación de f también supondría la modificación de las formas de popa. Para conseguir un flujo menos turbulento.

Estabilidad

Originalmente, se quería utilizar la opción 2 de la tabla 3 de la normativa sobre estabilidad y flotabilidad ISO 12217-3. Que de las dos opciones posibles para obtener la acreditación a la categoría de diseño C, es la más sencilla, puesto que hay que realizar menos ensayos.

Como se puede apreciar en la tabla 3 de la normativa ISO 12217-3, la primera parte de los ensayos detallados en el apartado 5.6 *Estabilidad* son comunes a los ensayos requeridos para la

opción 2. Con el requisito adicional de no superar una escora de 21,4° para los ensayos 6.3.2.4 y 6.3.2.6.

Los resultados de escora obtenidos son:

Tabla 35

	Tripulantes	escora	Opcion 2	
6.3.2.4	1	12,5	21,4	CUMPLE
6.3.2.6	2	15,4	21,4	CUMPLE
	3	23,0	21,4	NO CUMPLE
	4	27,8	21,4	NO CUMPLE
	5	19,8	21,4	CUMPLE
	6	10,0	21,4	CUMPLE

Donde la distribución de los tripulantes es la misma que la detallada en el apartado 5.6 *Estabilidad*.

Como se puede apreciar en la Tabla 35, la disposición con 3 y 4 tripulantes no cumple con los requisitos mínimos de escora, siendo estos superiores a 21,4°.

Por lo tanto la embarcación no supera los requisitos marcados por la opción 2.

7. Conclusiones

Después de lidiar con el proceso de diseño de una embarcación a motor de 5 m. Donde se han realizado alguno de los procesos propios de un proyecto de ingeniería naval, el presente proyecto ha permitido poner en práctica los conocimientos que se suponen, deben ser adquiridos durante el grado de Ingeniería en Sistemas y Tecnologías Navales.

A continuación se exponen las conclusiones:

Conclusión 1

Como es natural, los departamentos que intervienen en un proyecto están conectados entre si, donde hay partes que no se pueden empezar sin la finalización previa del trabajo de otro departamento. Entre otras relaciones.

En el caso del diseño del casco, se sabe de antemano que los diseños de cascos cuya sección tiene forma de V suele conducir a embarcaciones rápidas, o que se ha tenido especial consideración la velocidad por encima de otras características. En el caso del presente proyecto, se ha obtenido por una quilla tipo V (similar). Por lo que se ha notado la siguiente relación.

Disminuir el ángulo de astilla muerta de cara a la normativa del escantillonado, conduce a un aumento del el espesor mínimo requerido. Porque las presiones de diseño aumentan. Ya que el fondo de la embarcación empieza a semejarse más a una placa plana y por lo tanto, si un flujo de agua choca contra ella, la energía que contiene empujaría a la placa con más fuerza que si ésta tubiera forma en V, recibiendo el flujo de agua con un cierto ángulo de ataque. Que causa la descomposición de la fuerza en vectores tangenciales (fricción) y perpendiculares (presión) a la superficie.

Pero el aumento del ángulo de astilla muerta con el fin de reducir el espesor de fondo necesario supone un aumento en las necesidades de propulsión. Acorde con el método de cálculo de Savitsky. Posiblemente porque una quilla en V pronunciada supone un aumento de calado y por lo tanto una mayor superficie mojada. Derivando en mayor resistencia por fricción y finalmente de potencia.

A continuación se muestra una tabla comparativa sobre los resultados obtenidos con el método de Savitsky al variar únicamente el ángulo de astilla muerta, β . Para un rango de velocidades entre 8 y 10 nudos. Dada una embarcación de las siguientes características:

m_{LDC}	956,5	Kg
LCG	2,191	m
VCG	0,437	m
b	1,67	m
ϵ	5	º
f	0,764	m

Tabla 36

β	16,00°			16,43°			17,50°		
v (kn)	L _{CP} (m)	R _f (N)	P (kW)	L _{CP} (m)	R _f (N)	P (kW)	L _{CP} (m)	R _f (N)	P (kW)
8	2,14	230,15	3,18	2,09	226,21	3,20	2,11	231,41	3,24
9	2,14	269,16	4,14	2,10	266,40	4,16	2,12	270,85	4,21
10	2,12	307,60	5,13	2,11	307,79	5,16	2,12	309,20	5,22

L_{CP}: Distancia desde el punto del centro de presiones hasta el borde de salida del flujo. Ver Imagen 36.

Llama la atención que para un ángulo β de 16°, la resistencia por fricción obtenida a 8 nudos sea mayor que para un ángulo β de 16,43°. Pero no se le da mucha importancia porque la tendencia a mayores velocidades (10 kn) es de una resistencia por fricción que concuerda con el aumento de β , y se aprecia un orden lógico.

De los resultados se concluye, que la tendencia en las necesidades propulsivas cuando se varía el ángulo β es, aparentemente, cuanto más se reduzca, menor potencia propulsiva es necesaria. Pero hay que tener en cuenta que en el método de Savitsky, la β a introducir es la media entre el ángulo β a la altura del espejo de popa y el ángulo β a la altura del centro de gravedad. Mientras que para el cálculo del escantillonado, se utiliza el ángulo β a 0,4LWL m a proa desde el espejo de popa.

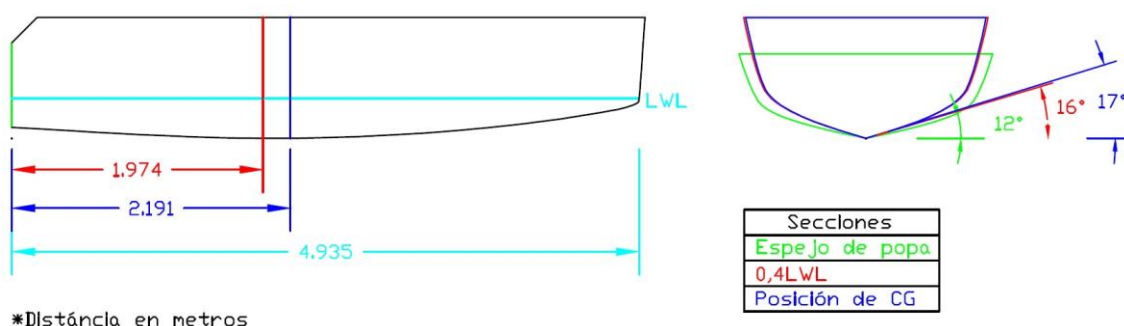


Imagen 49. Ilustración de la distribución de las secciones según el ángulo β a tomar

Sabiendo que la eslora de flotación LWL de la embarcación propuesta anteriormente en condición de máxima carga (956,5 kg), es de 4,935 m. Ello indica que la normativa sobre escantillonado contempla como:

$$0,4 \cdot LWL = 0,4 \cdot 4,935 = 1,974 \text{ m}$$

La distancia 1,974 m a proa desde el espejo de popa como el punto donde se pueden desarrollar mayores presiones (véase imagen 49). Puesto que se aproxima al valor de L_{CP} (véase Tabla 36). Y además es la zona donde se necesita mayor espesor.

Por lo tanto con tal de preservar la menor potencia necesaria mientras se minimiza el escantillonado mínimo necesario. Se concluye que un fondo en V donde la zona susceptible a soportar los mayores presiones (punto del centro de presiones) debe tener el mayor ángulo β posible. Mientras que pasado este punto, hacia popa, las formas pueden empezar a sutilmente “achaflanarse”, reduciendo el ángulo β a medida que se va aproximando a popa. Para así reducir la potencia necesaria.

Conclusión 2

El desplazamiento es uno de los parámetros de más peso a la hora de diseñar una embarcación. Pues para bien o para mal, sea fácil o difícil, si se consigue reducir el desplazamiento sin comprometer los requisitos de seguridad necesarios, es una forma muy efectiva de optimizar otros parámetros, ya sea de forma directa como las necesidades de propulsión o indirectamente a otros parámetros.

Un fallo que se ha cometido durante la espiral de diseño es, que después de optimizar y rebajar el desplazamiento de la embarcación en rosca se tendría que haber reconsiderado la altura de la cubierta, puesto que el calado en condición de máxima carga sería menor. Y por lo tanto se podría haber establecido una cubierta a menor altura (puesto que la normativa sobre desagües obliga a tener una cubierta a un mínimo de 0,07 m por encima de la línea de flotación). Resultando así en un centro de gravedad ligeramente más bajo.

Por el contrario, el hecho de tener un casco en forma de V, reduce el espacio habitable cuanto más se rebaja la cubierta.

Otra observación relacionada con el desplazamiento, es que se ha calculado el desplazamiento de la estructura según el peso de la fibra de vidrio por superficie de m² utilizada y el PVC para los refuerzos y mamparos.

El desplazamiento real, no obstante, puede diferir notablemente de la “teórica”, puesto que no se ha tenido en cuenta el peso de la resina, y del cual depende de la destreza del operario a la hora del laminado, ni del gel coat.

A continuación se estima el peso de gelcoat para 1 mm de espesor.

 ESPECIALIDADES QUÍMICAS PARA EL POLIÉSTER S.A. DE C.V.		
INFORMACIÓN DEL PRODUCTO		
Gel Coat Isoftálico Blanco		
PROPIEDADES DEL GEL COAT		
ESPECIFICACIÓN	VALOR	MÉTODO DE PRUEBA
Viscosidad @ 25° C, Brookfield LVF, aguja # 4 a 60 r.p.m. (cps)	2200 ± 100	EQPP-CC-002
Índice de Tixotropía	5 a 6	EQPP-CC-003
Densidad @ 25 ° C (g/ml)	1.22 ±0.02	EQPP-CC-008
% de Sólidos	65 ± 5	EQPP-CC-001
Este producto contiene absorbedor de U-V		

Imagen 50. Fragmento de ficha técnica del Gel Coat (isofáltico). De la empresa Poliformas.

Tabla 37

Densidad del Gel Coat	1220 kg/m³
------------------------------	------------------------------

Espesor del Gel Coat	1 mm
Área de aplicación	35,92 m ² *
Peso	43,82 kg
Kg/m²	1,22
*Dato obtenido del Anexo E, suma del área del casco con las planchas interiores.	

El peso de gel coat, supone alrededor del 17% del peso total de la estructura.

Por otra parte, la distribución de los pesos a lo largo de la eslora es fundamental para posicionar de forma óptima el centro de gravedad. Sobre todo para embarcaciones de poco desplazamiento, puesto que son más sensibles a dicha distribución.

Como se ha podido comprobar con el método de Savitsky, un centro de gravedad cercano a la eslora entre perpendiculares supone una menor necesidad de potencia propulsora. Aunque hay que tener en cuenta la posición del centro de carena.

La tabla siguiente muestra los cambios en las necesidades propulsivas y el ángulo de trimado, τ_0 en estado de equilibrio. Es decir, cuando la suma de los momentos por el vector desplazamiento y el vector de resistencia por fricción, es cero. Variando únicamente la posición longitudinal del centro de gravedad, LCG. Para un rango de velocidades de entre 8 y 10 nudos. Dada una embarcación de las siguientes características:

m_{LDC}	956,5	Kg
VCG	0,437	m
b	1,67	m
ϵ	5	°
β	16,43	°
f	0,76425	m

Tabla 38

LCG (m)	1,75		2,191		2,50	
v (kn)	τ_0 (°)	P (kW)	τ_0 (°)	P (kW)	τ_0 (°)	P (kW)
8	6,9	5,21	3,4	3,20	0,8	1,73
9	7,3	6,21	3,9	4,16	1,5	2,65
10	7,4	7,16	4,3	5,16	2,1	3,7

Como se puede apreciar, tanto el ángulo de trimado en equilibrio como la potencia de propulsión necesaria disminuye a medida que se desplaza hacia proa el centro de gravedad. No se ha considerado necesario comprobar centros de gravedad posicionados a proa de la eslora entre perpendiculares porque se crearían asientos negativos.

Por lo tanto, ello también permite concluir que para embarcaciones similares al del presente proyecto, es común encontrarse con distribuciones completamente simétricas con respecto a la línea de crujía, para así evitar que el centro de gravedad se desplace transversalmente cuando la embarcación está en rosca. Por lo tanto, una consola centrada en el plano de crujía hubiera ahorrado problemas logísticos a la hora de distribuir los diferentes objetos.

Otras formas de minimizar el efecto de la distribución o desplazamiento de los pesos es optimizando la forma y volumen del volumen de carena. Es decir, un coeficiente de bloque más grande (el coeficiente de bloque C_b del caso estudiado es de 0,399). Con el objetivo de aumentar el peso por centímetro de inmersión.

El problema con esta solución es que obliga a crear una embarcación demasiado “panzuda”, que afectaría a las necesidades propulsivas, requiriendo mayor potencia. Siendo la potencia una de las principales limitaciones.

La imagen siguiente muestra ejemplos de embarcaciones similares de entre 4 m y 5 m de eslora.

Bayliner 160 Bowrider



Galia 475 Open



Jeanneau Cap Camarat 4.7 CC



Imagen 51. Ejemplos de embarcaciones con cubierta al aire de entre 4 m y 5 m de eslora.

Todas tienen en común que navegan en régimen de planeo, donde el *Galia 475 Open*, a diferencia del resto de ejemplos, tiene una distribución del diseño no simétrica, que es

compensada con las formas de carena con coeficiente de bloque mayor, sobretodo bajo las zonas donde se prevee mayor inestabilidad, como en el asiento del piloto.

En estas embarcaciones se puede apreciar como la potencia necesaria no es un parámetro tan limitador como en el caso del presente proyecto, pues ante cualquier adversidad tan solo hay que instalar un motor de mayor potencia.

Conclusión 3

Desde el punto de vista de la construcción de embarcaciones, el hecho de que el diseño tenga una transición de las aletas de popa hacia el espejo de popa con un ángulo de 90° , supone una localización propensa a la concentración de esfuerzos puesto que no proporciona continuidad a la transmisión de los esfuerzos que se puedan crear.

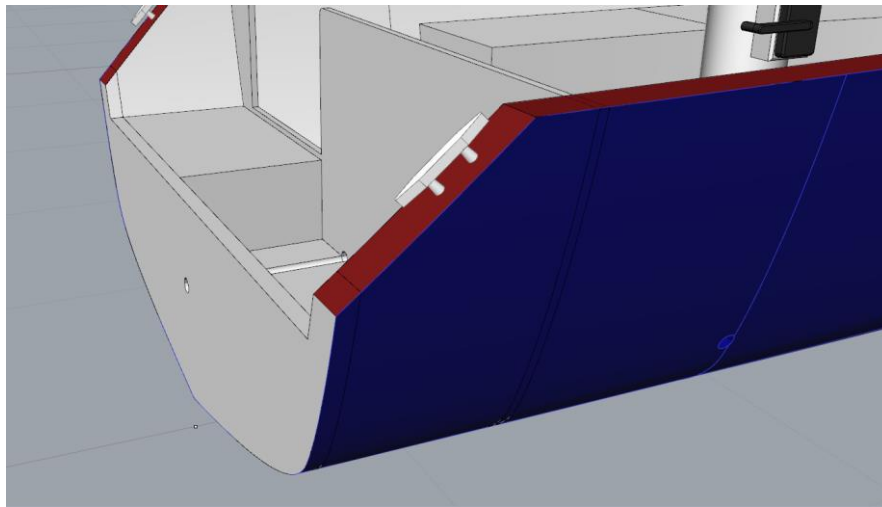


Imagen 52. Ilustración de la forma de popa del diseño.

La existencia del mamparo de popa debería minimizar dicho efecto.

Por otra parte, desde el punto de vista de la laminación, esta transición de ángulos rectos mencionada podría acarrear dificultades durante su proceso de laminado. Tanto por la accesibilidad del operario hacia esquinas de ángulo recto como por las propiedades mecánicas resultantes ya que la impregnación entre resina y refuerzo no se llevaría a cabo de forma adecuada u óptima, con riesgo a deformaciones en los cantos. Por lo que puede derivar en una zona estructuralmente débil.

La solución ante estos problemas es implementar un cierto radio de curvatura en las esquinas suficiente para que la rigidez de la fibra no sea un obstáculo a la hora del laminado.

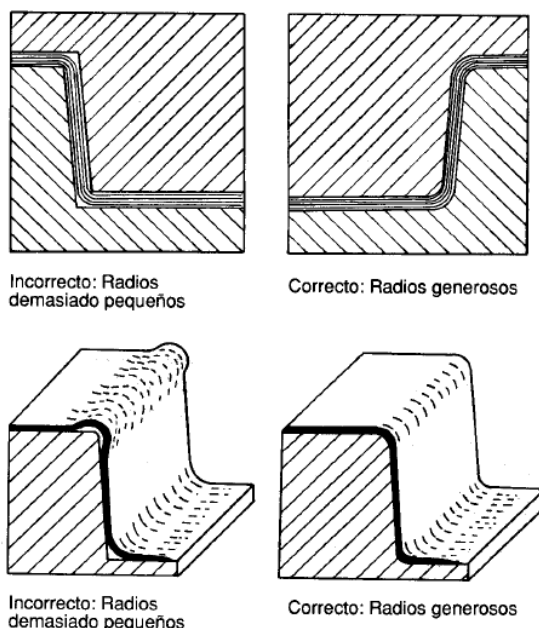


Imagen 53. Ilustración de las anomalías ante cantos vivos. Imagen de Los Moldes por A. Besednjack.

Conclusión 4

Para el cálculo de la estabilidad se ha asumido en todos los casos un metacentro fijo. Esta aproximación es aceptable para escoras pequeñas de hasta 10° , donde la variación del metacentro es despreciable.

Por lo tanto, para escoras superiores como los que se han manejado durante el cálculo del ensayo de estabilidad y flotabilidad del apartado 5.6 *Estabilidad*, los resultados obtenidos tienen incorporados un cierto error numérico.

Conclusión 5

La velocidad máxima esperada es de 20 nudos con un motor de 40 H.P, es decir 29,4 kW. Para el cual se ha dimensionado los refuerzos y el escantillonado según este rango de velocidades. Por lo tanto en el manual del propietario debería constar como 29,4 kW, la potencia máxima permitida.

El comportamiento de la embarcación con la potencia máxima puede ser diferente a lanchas similares pues tiene unas formas de carena en V poco pronunciadas, con cantos suaves más propias de una embarcación a vela que de una embarcación a motor.

Por lo tanto, para poder alcanzar o facilitar el planeo así como aumentar la calidad de la maniobra sería necesario implementar al casco, raíles.

El uso de raíles aumenta la superficie de carena y por lo tanto la fuerza de sustentación y guía al flujo hacia popa, reduciendo el efecto “spray”, efecto denominado a la tendencia del agua a desviarse transversalmente hacia los costados cuando se quiere adentrar a rangos de planeo.



Imagen 54. Ejemplo de embarcación a motor con railes en régimen de planeo.

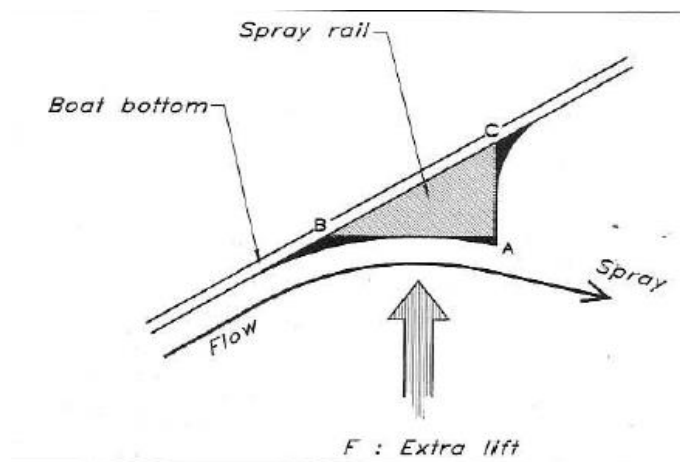


Imagen 55. Sección transversal de un rail. Imagen de Principles of Yacht design de Larsson y Eliasson.

Conclusión 6

Finalmente, tras analizar los resultados obtenidos a lo largo de cada departamento se concluye que la embarcación diseñada en el presente proyecto es compatible con las atribuciones mínimas necesarias para ser clasificada como embarcación con categoría de diseño C. Y por lo tanto apto para navegar hasta 12 millas de la costa.

Siendo también, utilizable como embarcación sin necesidad de título náutico para gobernarlo. El cual a pesar de su desplazamiento, se considera equiparable en rendimiento propulsivo, en términos de velocidad con una embarcación menor y de diseño similar con una eslora L_H de 4 m. Pues el diseño tiene un coeficiente de bloque C_B (0,39 en condición de máxima carga en zona de navegación 4) pequeño, sacrificando superficie habitable. En comparación con las embarcaciones de 4 m que tienen un C_B mayor al del presente proyecto con tal de tener una superficie habitable aceptable.

Dado que el principal objetivo es la de una embarcación sin licencia orientada al chárter, cuya navegación solo puede ser diurna, el diseño interior es simple y de cubierta descubierta. Por lo tanto cuando se utilice para navegar a más de 2 millas de la costa, se recomienda utilizar la embarcación como un "daysailer", es decir una embarcación que a pesar de poder ser gobernado durante la noche o incluso poder navegar a grandes distancias de la costa, solo se utiliza de día y en zonas cercanas a la costa.

En cuanto a la propulsión estimada se considera que se ha alcanzado el objetivo establecido, de alcanzar los 7 nudos con un motor de 11,26 kW. E idealmente de 10 nudos con las condiciones climáticas aceptables, donde el mar este en calma y el viento sea despreciable.

En condiciones climáticas adversas, (las posibles a 12 millas de la costa) los tripulantes deberían permanecer distribuidos entre $L_H/2$ y la popa de la embarcación pero en condiciones positivas, emplazar entre 2 y 3 pasajeros entre $L_H/2$ y la proa puede aumentar el rendimiento propulsivo.

8. Bibliografía

Bibliografía:

- LARS LARSSON and ROLF E. ELIASSON. Principles of Yacht Design, 2nd edition, London 2000.
- BESEDNJAK A. Materiales compuestos. Procesos de fabricación de embarcaciones. Ed. UPC; Barcelona 2005.
- DONALD L. BLOUNT and DAVID L. FOX. Small-Craft Power Prediction. Marine Technology. Vol. 13, No 1, Jan. 1976. Pp. 14-45.
- ARANTXA LLAMBRICH PONCE. Diseño de una embarcación planeadora de 5,4 m de L.O.A. Proyecto final de carrera. Facultat de Nàutica de Barcelona. UPC. Septiembre 2011.

Webgrafía:

- Información:
http://abeking.com/en.html?no_cache=1
http://www.solarnavigator.net/small_waterplane_area_twin_hulls.htm
<http://www.pirolec.com/>
http://www.plasticel.es/aros_salvavidas.html
<http://www.latiendadelnavegante.com/productos.asp?c=0701010101>
- Precio materiales:
<http://www.feroca.com/es/>
<http://www.fibermaxcomposites.com/shop/>
<http://www.tiendaonlineplastiform.es/>
- Diseño:
<http://beatcollection.com/blog/medidas-adecuadas-para-el-diseno-de-sillas-ergonomicas/>
Medidas Compass GT400: Embarcación de la empresa TIMON DE FORTUNA S.L., situado en el Port Olímpic en Barcelona.

Apuntes:

- Proyectos del buque y artefactos navales. Julio García. Facultat de Nàutica de Barcelona.
- Construcción de embarcaciones de recreo. Besednjak A. Facultat de Nàutica de Barcelona.
- Mecánica de fluidos. Julio García. Facultat de Nàutica de Barcelona.
- Métodos de producción con materiales compuestos. Besednjak A. Facultat de Nàutica de Barcelona.

Normativa:

- http://www.fomento.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/DIRECCIONES_GENERALES/MARINA_MERCANTE/NAUTICA_DE_RECREO/
- <https://www.boe.es/>
- 18571 Real Decreto 2127/2004 de 29 de Octubre. Sobre requisitos de seguridad.
- 17038 Real Decreto 1435/2010 de 5 de Noviembre. Sobre normativa, lista Sexta.
- 13465 Resolución de 26 de Noviembre de 2013. Actualización del anexo 15.
 - UNE-EN ISO 1157: Embarcaciones de recreo. Dispositivos de protección contra el arranque con marcha engranada.
 - UNE-EN ISO 11591: Embarcación de recreo a motor. Campo de visión desde la posición del timón.
 - UNE-EN ISO 11812: Bañeras estancas y bañeras de vaciado rápido.

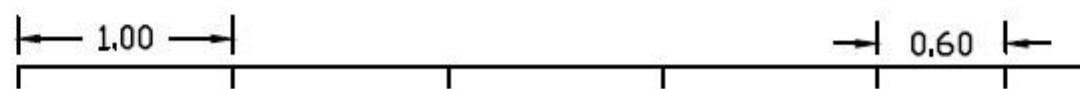
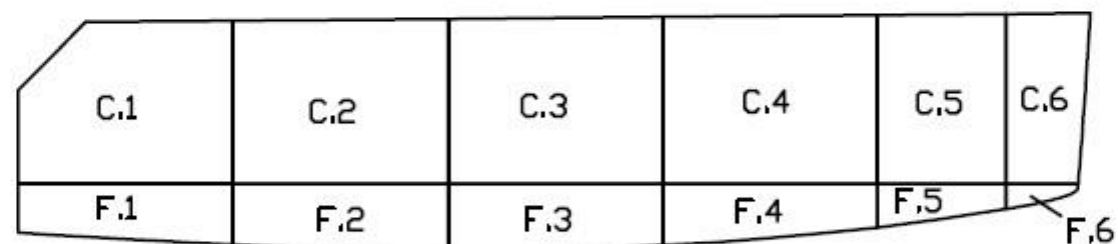
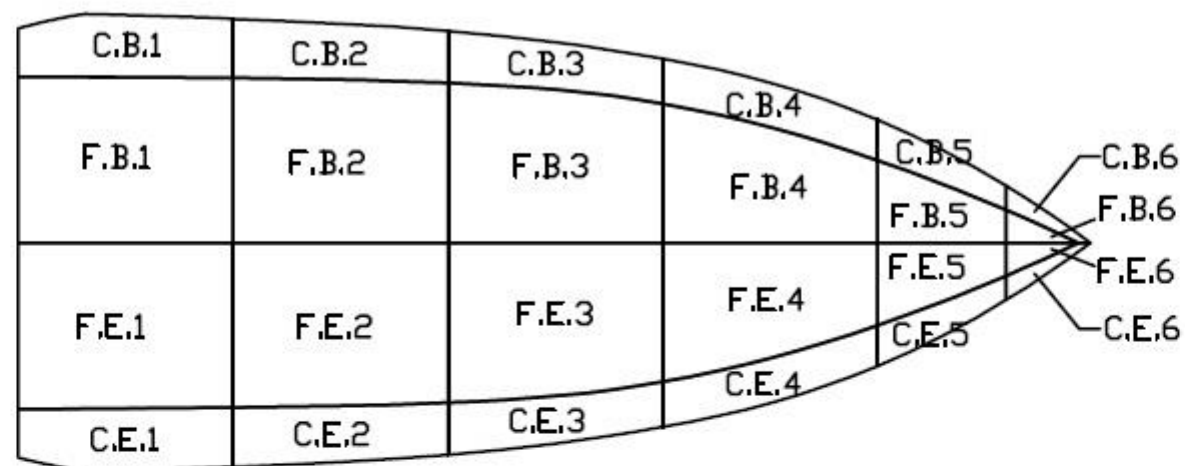
- UNE-EN ISO 12217-3: Pequeñas embarcaciones. Evaluación y clasificación de la estabilidad y flotabilidad. Parte 3: embarcaciones de eslora menor a 6 m.
- UNE-EN ISO 14946: Embarcación de recreo. Capacidad de carga máxima.
- ISO 12215-5: Cálculo del escantillonado.
- 10344 Real Decreto 875/2014 de 10 de Octubre.
- 9581 ORDEN FOM/1144/2003 de 28 de Abril. Sobre equipos de seguridad y prevención de contaminación.
- DNVGL-RU-Yacht-Pt3Ch3.

9. Anexos

Anexo A: Planos

A continuación se muestran los diferentes planos de distribución que se han tenido en cuenta para los diferentes cálculos realizados en los diversos departamentos.

I. Plano de distribución de los peneles del casco

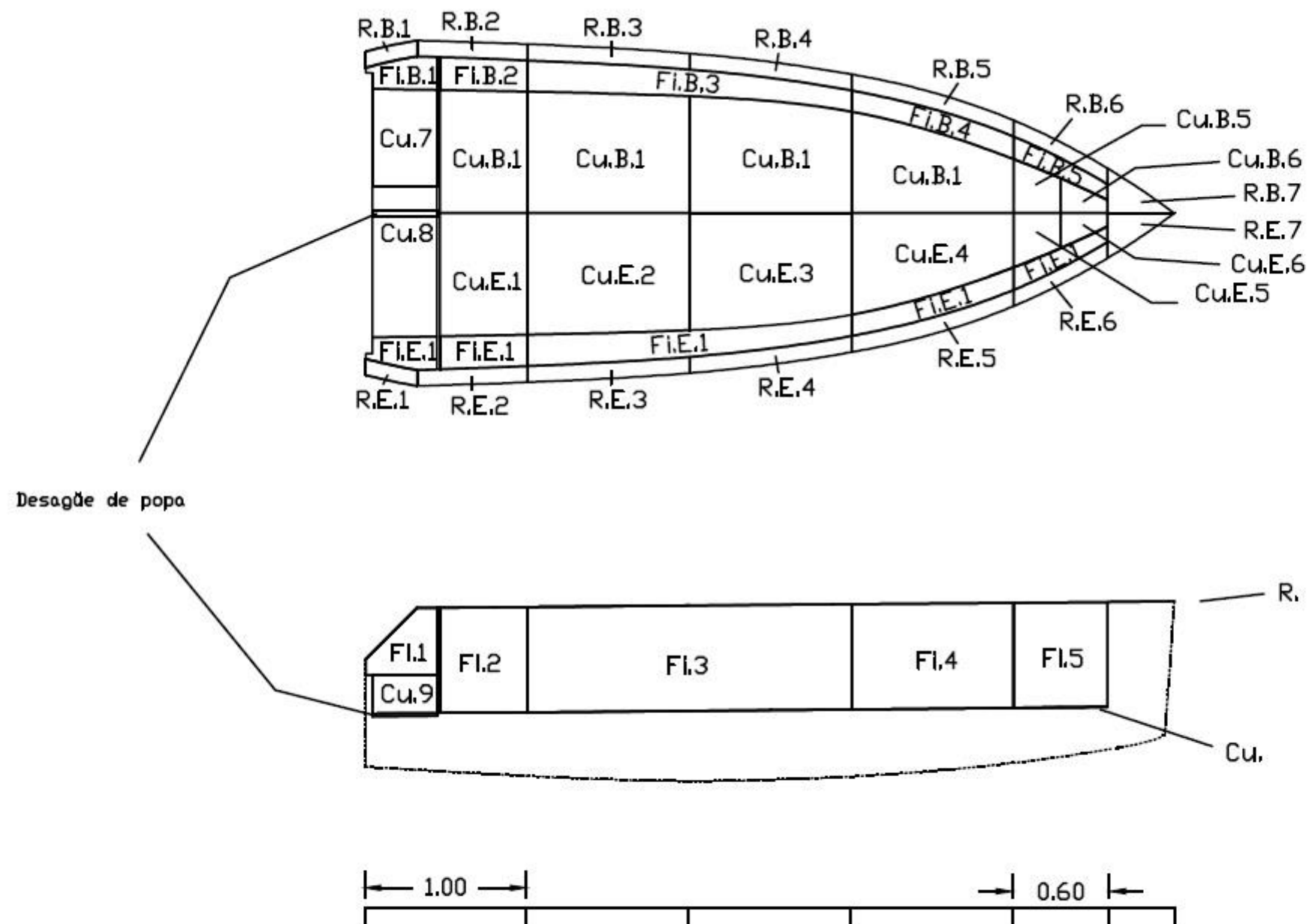


Plano de distribución de los paneles del casco		PLANO Nº
Dibujado por Daniel Cao		01

*Unidades en metros

Leyenda	
F.	Fondo
C.	Costado
E.	Estribor
B.	Babor

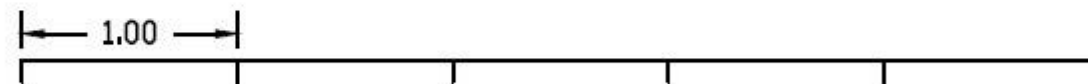
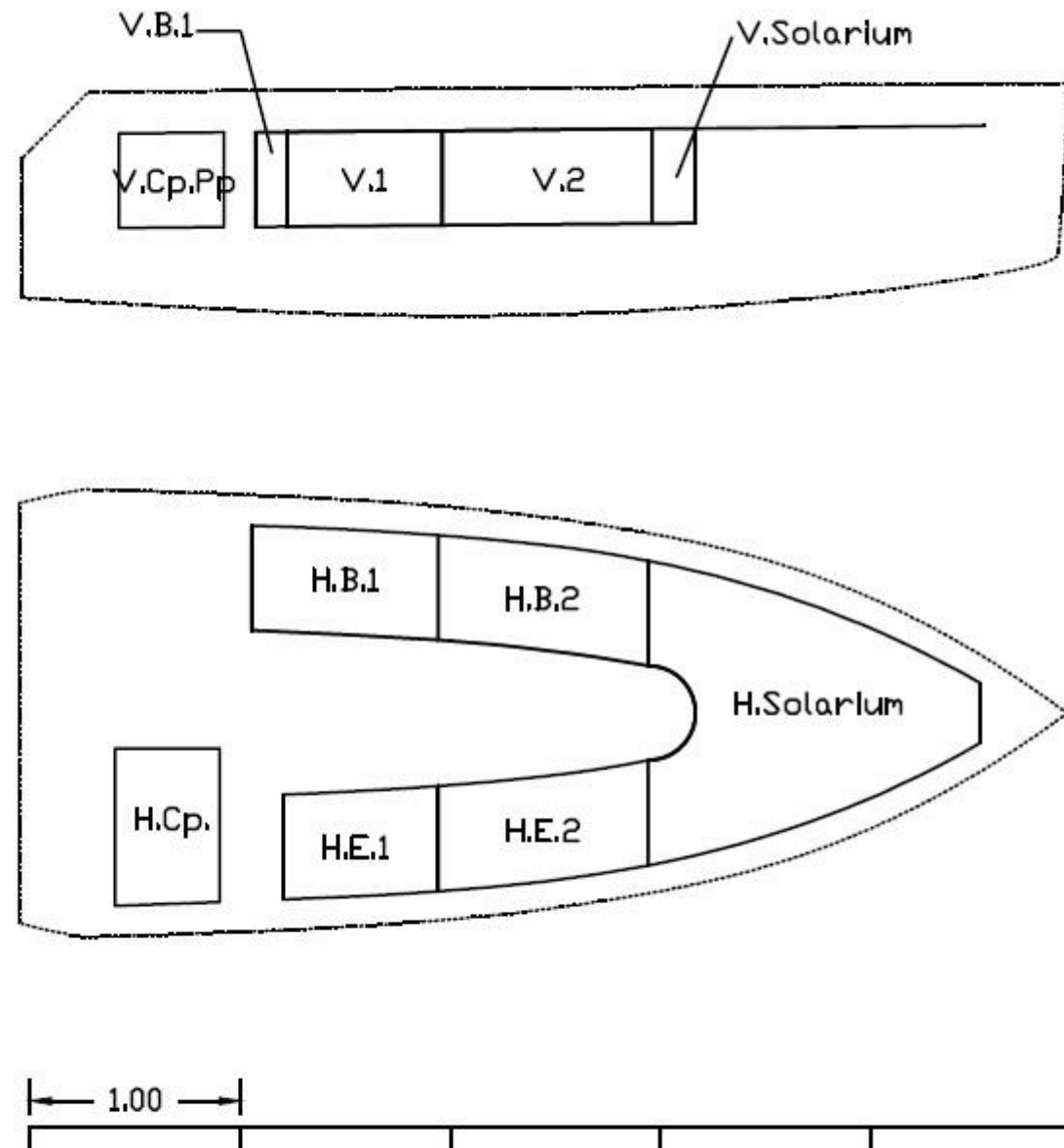
II. Plano de distribución de los paneles del interior



Plano de distribución de los paneles del interior PLAND Nº
 Dibujado por Daniel Cao 02
 *Unidades en metros

Leyenda	
Cu.	Cubierta
Fl.	Forro Interior
R.	Regala
E.	Estribor
B.	Babor

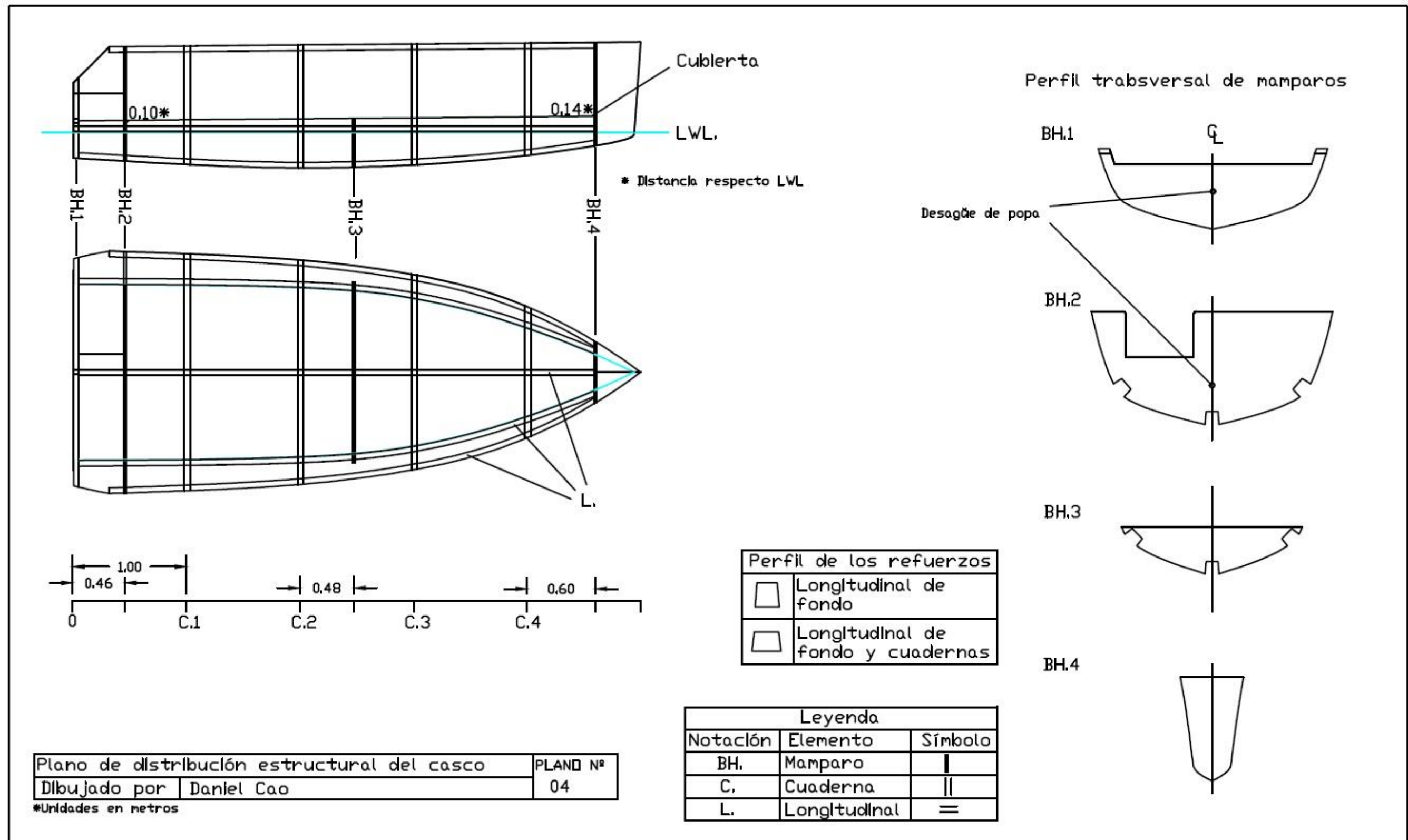
III. Plano de distribución de los paneles de asientos



Plano de distribución de los paneles de asientos		PLANO Nº
Dibujado por Daniel Cao		03
*Unidades en metros		

Leyenda	
V.	Panel vertical
H.	Panel horizontal
E.	Estribor
B.	Babor
Cp.	Asiento del capitán
Pp.	Popa
Pr.	Proa

IV. Plano de distribución estructural del casco



Anexo B: Normativas

Índice

10344 – Regulación de titulaciones náuticas.....	81
17038 – Abanderamiento para matrícula en lista sexta.....	82
13465 – Regulación de los requisitos de seguridad. Anexo XVIII.....	83
ISO 11547:1994 - Protección contra el arranque con marcha engranada.....	83
ISO 11591:2000 - Campo de visión.....	84
ISO 11812:2001 - Bañeras estancas y bañeras de vaciado rápido.....	89
ISO 12217-3:2002 - Evaluación de la estabilidad y flotabilidad.....	99
ISO 14946:2001 - Embarcación de recreo. Capacidad de carga máxima.....	122
ISO 12215-5:2008 - Escantillonado.....	113
18571 – Requisitos de seguridad.....	138
9581 – Equipamiento de seguridad y prevención de la contaminación.....	142

En el presente anexo se recopilan todas las normas que atañen o afectan al presente proyecto. Donde se sintetizan y recopilan exclusivamente las partes de las diferentes normativas que afectan al presente proyecto. Por lo tanto los apartados, definiciones o menciones a otras normativas que no afecten al proceso de diseño se marcarán con la notación *NA*, no aplicable.

BOE

10344 - Real Decreto 875/2014, de 10 de Octubre

Por el que se regulan las titulaciones náuticas para el gobierno de las embarcaciones de recreo, incluyendo las motos náuticas.

Capítulo I. Disposiciones generales

Artículo 3. Definiciones.

- 1. Embarcación de recreo, en adelante embarcación: Toda embarcación de cualquier tipo, con independencia de su medio de propulsión, cuyo casco tenga una eslora (L_h) comprendida entre 2,5 y 24 metros, medida según los criterios fijados en el apartado 6 de este artículo, utilizada para fines deportivos o de recreo. Quedan comprendidas en esta definición las embarcaciones con fines de formación para la navegación de recreo.
- 5. Lugar de abrigo: Lugar en el que fácilmente puede refugiarse una embarcación y permitir la llegada a tierra de sus ocupantes.
- 6. Eslora: La distancia medida paralelamente a la línea de flotación de referencia y al eje de la embarcación, entre dos planos verticales perpendiculares al plano central de la embarcación, situados uno en la parte más a proa de la misma y el otro en la parte más a popa. Incluyendo toda parte estructural de la embarcación o que formen parte integrante de esta. Tales como rodas o popas de madera, de metal o de plástico o productos similares, las amuradas y las juntas, casco/cubierta, así como aquellas partes desmontables del casco que actúan como soporte hidrostático o hidrodinámico cuando la embarcación está en reposo o navegando.

Esta eslora excluye todas las partes móviles que se puedan desmontar de forma no destructiva sin afectar a la integridad estructural de la embarcación.

Para las embarcaciones con marcado CE la eslora será la que se ajuste a la definición de los párrafos anteriores entre las recogidas en la declaración de conformidad en la embarcación, que es la eslora del casco según se define en la norma UNE EN-ISO 8666-2003.

- 7. Embarcación a motor: Toda embarcación en la que uno o varios motores constituyen el sistema principal de propulsión.
- 9. Potencia máxima instalada: La potencia total del motor o suma de motores instalados para la propulsión de la embarcación, medida en kilovatios.
- 23. Navegación diurna: Toda navegación que se realiza entre el orto y el ocaso.

Capítulo II. Atribuciones de las titulaciones de recreo

Artículo 10. Excepciones.

- 1. Para el gobierno de embarcaciones a motor con una potencia máxima de 11,26 kilovatios y hasta 5 metros de eslora, las de vela hasta 6 metros de eslora y los artefactos flotantes o de playa, a excepción de las motos náuticas, no será preciso estar en posesión de las titulaciones reguladas en este real decreto, siempre que no se alejen más de 2 millas náuticas de un puerto, marina o lugar de abrigo y la actividad se realice en régimen de navegación diurna.

A los efectos de lo dispuesto en este apartado, los interesados deberán haber cumplido 18 años de edad sin que le sea de aplicación lo dispuesto en el apartado 2 del artículo 13 de este real decreto.

- 2. No será necesario cumplir con los requisitos de edad ni de titulación regulados en este real decreto a efectos de la preparación y participación en competiciones marítimo-deportivas oficiales.

17038 - Real Decreto 1435/2010 de 5 de Noviembre

Por el que se regula el abanderamiento y matriculación de las embarcaciones de recreo en las listas sexta y séptima del registro de matrícula de buques.

Artículo 9. Documentación requerida para el abanderamiento de embarcaciones con marcado CE.

1. La solicitud de abanderamiento de las embarcaciones de recreo con marcado CE se acompañará, cuando corresponda, de la siguiente documentación:

a) Declaración de conformidad de la embarcación y de los motores propulsores emitida por el constructor o su representante autorizado establecido en la Unión Europea.

Artículo 11. Documentación requerida para el abanderamiento de embarcaciones construidas por aficionados.

2. Si la embarcación construida por aficionado se comercializa o se pretende inscribir en la lista sexta, con independencia del tiempo transcurrido desde su construcción, se deberá obtener, previamente a su inscripción en el registro, el marcado CE, mediante un procedimiento de evaluación de la conformidad con posterioridad a su fabricación, regulado en el artículo 6.1 del Real Decreto 2127/2004.

13465 - Resolución de 26 de Noviembre de 2013 de la DGMM

Donde se especifican las diferentes normas UNE (actualización del Anexo XVIII del Real Decreto 2127/2004, de 29 de Octubre) correspondientes a la regulación de los requisitos de seguridad de las embarcaciones de recreo, de las motos náuticas, de sus componentes y de las emisiones de escape y sonoras de sus motores.

Anexo XVIII

EN ISO 11547:1994. *Embarcaciones de recreo. Dispositivos de protección contra el arranque con marcha engranada*

2. Normas para consulta

ISO 11192 - Embarcaciones de recreo. Símbolos gráficos.

ISO 13342 - Embarcaciones de recreo. Medidas del impulso estático para motores fueraborda.

3. Definiciones

Para los fines de esta Norma Internacional, se aplican las siguientes definiciones:

3.1 impulso estático: Empuje hacia delante o atrás desarrollado por un motor fuera borda en posición estacionaria.

3.2 control a distancia: Manivela de gases, controlador de arranque y dispositivos de cambios, situada en una posición alejada del motor fueraborda.

3.3 encendido a distancia: Mando de encendido de motor alejado del motor fueraborda.

3.4 arranque local: Mando de encendido situado en el motor fuera borda o cerca de éste

4. Requisitos

4.1 Todo motor fuera borda capaz de un impulso estático (tracción sobre las amarras) conforme a la Norma ISO 13342, superior o igual a 500 N cualquiera que sea la hélice o cualquier otro dispositivo de propulsión propuesto por el constructor para ese motor, debe estar equipado de un dispositivo destinado a evitar el arranque del motor con una marcha engranada cuando los mandos están regulados para alcanzar o sobrepasar un impulso de 500 N

4.2 Los motores equipados con un sistema de encendido a distancia pueden constar bien de un dispositivo integrado de protección contra el arranque con marcha engranada como el descrito en 4.1, o bien de un dispositivo similar integrado al sistema de control a distancia. En este último caso, se deberá pegar una etiqueta sobre el motor, próxima al mando de conexión, con los símbolos "ADVERTENCIA" y "LEER EL MANUAL DEL USUARIO" conformes a la Norma ISO 1192.

4.3 Los motores en los que normalmente el encendido se efectúa a distancia pero en los que también se puede efectuar mediante arranque local manual que no es fácilmente accesible, no necesitan un dispositivo de protección contra el arranque con marcha engranada, siempre y cuando el producto lleve etiqueta de información representada en la figura 2.

Esta etiqueta debe de ser colocada en un lugar visible para la persona que esté utilizando el sistema de arranque manual.

EN ISO 11591:2000. *Embarcación de recreo a motor. Campo de visión desde la posición del timón.*

2. Términos y definiciones

Para los fines de esta norma internacional, se aplican los siguientes términos y definiciones.

2.1 Posición alta del ojo: (Timonel en posición de pie) posición 1730 mm por encima de la superficie en la que está de pie el timonel, a 400 mm por detrás del centro de la rueda de gobierno (véase la figura 1).

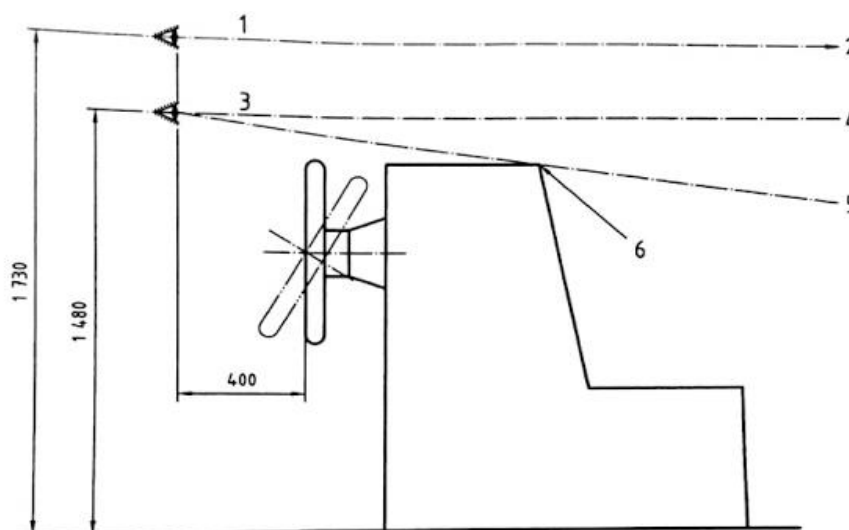
2.2 Posición alta del ojo: (Timonel en posición sentado) posición situada a 840 mm por debajo de la intersección entre el asiento comprimido y el respaldo del asiento, 400 mm por detrás del centro de la rueda de gobierno (véase la figura 2).

2.3 Posición baja del ojo: (Timonel en posición de pie) posición 1480 mm por encima de la superficie en la que está de pie el timonel, a 400 mm por detrás del centro de la rueda de gobierno (véase la figura 1).

2.4 Posición baja del ojo: (Timonel en posición sentado) posición situada a 690 mm por encima de la intersección entre el asiento comprimido y el respaldo del asiento, 400 mm por detrás del centro del eje de la rueda de gobierno (véase figura 2).

2.5 Parte baja del asiento comprimido: Superficie del centro del asiento del timonel en la intersección entre respaldo del asiento y la parte baja del asiento cuando se comprime por medio de un objeto esférico de 25 mm de diámetro bajo una carga vertical de 100 N (véase la figura 2).

Posición del ojo y campo de visibilidad vertical. Timonel en posición de pie (medidas en milímetros).

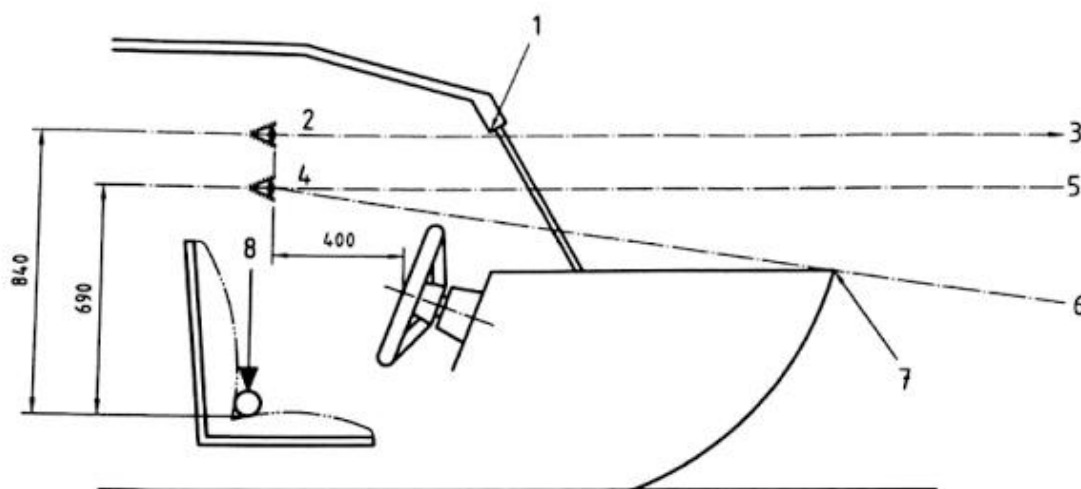


Leyenda

1. Posición alta del ojo
2. Al horizonte
3. Posición baja del ojo
4. Campo de visibilidad vertical requerido
5. Línea inferior de visibilidad no obstruida

6. Punto de obstrucción visual

Posición del ojo y campo de visibilidad vertical. Timonel en posición sentado (medidas en milímetros).



Leyenda

1. Obstáculo a la visibilidad
2. Posición alta del ojo
3. Al horizonte
4. Posición baja del ojo
5. Campo de visibilidad vertical requerido
6. Línea inferior de visibilidad no obstruida
7. Obstáculo a la visibilidad
8. Compresión del asiento (apartado 2.5)

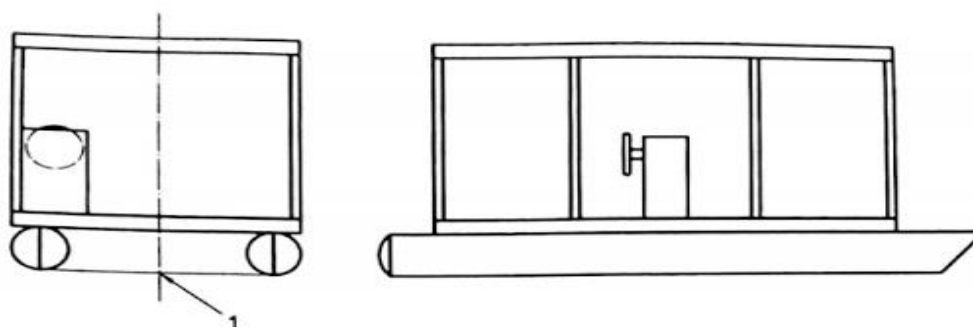
2.6 Quilla teórica: En embarcaciones que no presentan, en el eje longitudinal, una intersección clara de las superficies del fondo, la intersección con el plano central longitudinal de la embarcación de la proyección horizontal de las superficies más bajas del fondo (véase la figura 3).

2.7 Línea de referencia de nivel: Línea de flotación de la embarcación, real o de diseño, determinada para las condiciones de navegación a la velocidad prevista de utilización.

2.8 Campo de visibilidad vertical: Zona comprendida entre la línea inferior de visibilidad no obstruida en posición baja del ojo, y la línea superior de visibilidad no obstruida en posición alta del ojo (véase las figuras 1 y 2)

2.9 Embarcación gobernada con caña: Embarcación gobernada desde la posición de popa por medio de la caña del motor fueraborda, o con la caña del timón directamente unida al timón de popa.

Quilla teórica de multicasco



Leyenda

1. Quilla teórica (apartado 2.6)

3. Requisitos generales

3.1 La posición del timonel debe permitir al operador tener un campo de visión, incluyendo visión de la superficie del agua, conforme con los requisitos de esta norma internacional en condiciones de plena carga, listo para su uso, en la condición durante la navegación, en maniobra, atraque u otros modos operativos ampliados.

3.2 Todos los cristales destinados a asegurar la visibilidad desde el puesto del timonel deben permitir satisfacer los requisitos de esta norma internacional y deben tener al menos un 70% de factor de transmisión de la luz.

3.3 NA

3.4 Las posiciones de gobierno diseñadas para utilizarse ya sea en las posiciones de pie o sentado deben cumplir los requisitos de esta norma internacional desde al menos una de las posiciones.

3.5 Los controles de potencia e inversión, destinados para uso del timonel, deben estar situados dentro de 0,7 m de la posición alta del ojo y deben permitir el mantenimiento de al menos una posición baja del ojo del timonel en todas las posiciones del control de potencia. Para embarcaciones diseñadas para accionarse tanto desde la posición sentada como de pie, los controles deben estar situados para satisfacer estos requerimientos desde al menos la posición sentada.

3.6 Los requisitos para la posición baja del ojo baja pueden satisfacerse con un asiento del timonel con ajuste vertical de la altura.

3.7 Las capotas permanentes y desmontables y/u otras partes estructurales e instrumentos montados en la proximidad del timonel no deben obstruir la visibilidad a proa tal como requiere esta norma internacional.

4. Campo de visibilidad hacia proa

4.1 Horizontalmente

Véase la figura 4.

4.1.1 Debe disponerse un campo de visibilidad desde las posiciones del ojo en el timón a lo largo de un arco horizontal desde 112,5° a estribor hasta 90° a babor de la embarcación. Para las posiciones de timón a babor, estribor o a la vía se requieren los mismos ángulos de visibilidad a babor y estribor.

4.1.2 La visibilidad desde 90° a 112,5° a babor debe disponerse sin que el timonel deje la caña o los controles, es decir, sin más de 0,5 de desplazamiento a proa desde la posición del ojo.

4.1.3 Se debe disponer un campo central de visibilidad a todo lo largo de la zona vertical de visibilidad y extendiéndose al menos 15° a cada banda de una línea a proa de la posición del ojo a la distancia de visibilidad obstaculizada descrita en 4.1.5. Los obstáculos fijos a la visibilidad dentro de esta área, tales como instrumentos, accesorios de cubierta, bocinas, luces y candeleros, deben estar de modo que se pueda mantener una visibilidad clara con movimiento de cabeza desde las posiciones del ojo que no excedan 35 mm en cualquier dirección horizontal. El ángulo total medido desde la posición del ojo, subtendido por objetos fijos, no debe exceder de 8° y los objetos no deben superponerse cuando se vean desde la posición del ojo.

4.1.4 Para los sectores situados fuera del campo de visibilidad central prescrito en el apartado 4.1.3 pero dentro del campo de visibilidad prescrito en el apartado 4.1.1, los obstáculos fijos que obstruyan a la visibilidad deben ser tales que la visibilidad se pueda mantener con un movimiento de cabeza desde la posición del ojo que no excedan 100 mm en cualquier dirección horizontal. El ángulo total medido desde la posición de ojo, subtendido por objetos fijos, no debe exceder 30° y los objetos no deben superponerse cuando se vean desde la posición del ojo.

4.1.5 La distancia de visibilidad obstaculizada a la superficie del agua en alcance horizontal de visibilidad desde la roda o punto de obstáculo visual en la embarcación, según se determina por la línea de referencia de nivel (véase el apartado 4.2.1) no debe exceder de cuatro veces la eslora L_H y en ningún caso debe exceder de 50 m.

4.2 Verticalmente

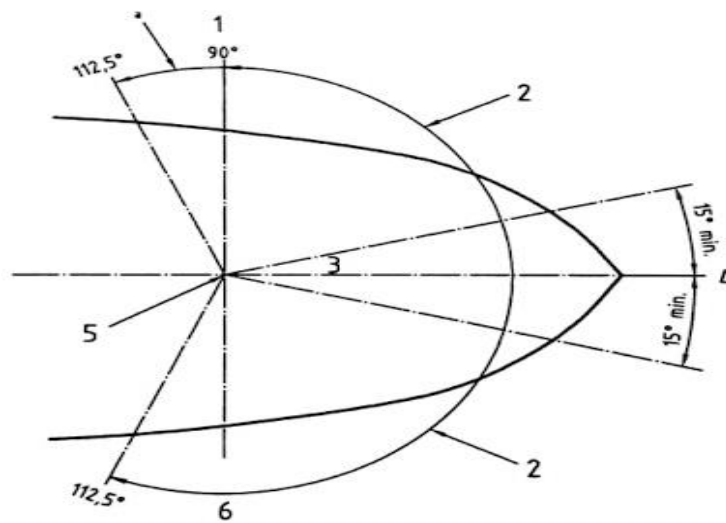
4.2.1 El campo de visibilidad vertical respecto al horizonte y a la superficie del agua debe determinarse con la embarcación en una posición fijada por la línea de referencia de nivel, estando la embarcación completamente cargada, lista para su uso.

Para embarcaciones de eslora menor de 10 m capaces de planeo a una velocidad en nudos mayor a siete veces la raíz cuadrada de la eslora, L_H , expresada en metros, o 20 nudos, la que sea menor, la línea de nivel de referencia se determina con el motor fueraborda de mayor potencia para el cual está clasificada la embarcación o el motor interior más potente instalado por el fabricante y

- a) con la superficie del fondo del casco adyacente a la quilla, o a la quilla teórica, en la mitad trasera de la embarcación, inclinada 4° respecto a la horizontal (proa levantada);
y
- b) con la superficie del fondo del casco adyacente a la quilla, o a la quilla teórica, cortando el plano horizontal representando la superficie del agua a un tercio de la eslora del casco a partir de la proa (véase la figura 5)

4.2.2 El campo de visibilidad vertical mínimo debe extenderse desde la horizontal respecto a la posición alta del ojo a la línea inferior de visibilidad no obstruida respecto a la posición baja del ojo (véase las figuras 1 y 2), cumpliendo siempre los requisitos enunciados en el apartado 4.1.5 para el área horizontal completa de visibilidad descrita en el apartado 4.1.1.

Fig.4 - Campo de visibilidad horizontal

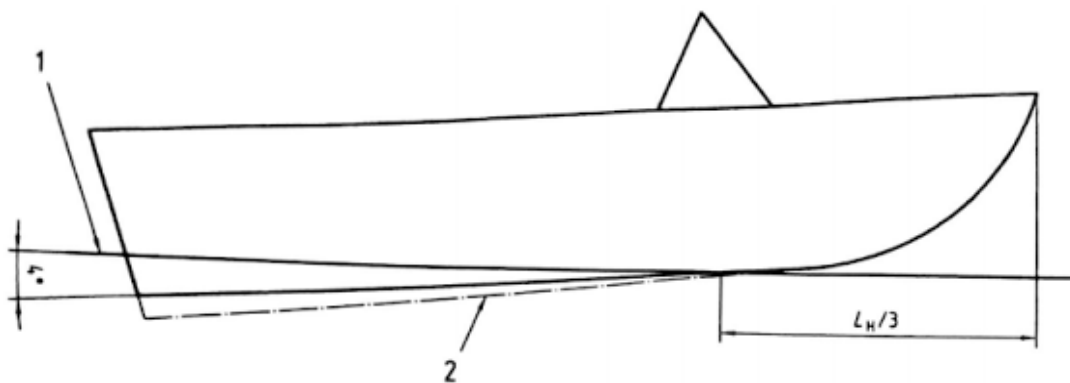


Leyenda

1. Babor
2. Campo de visibilidad horizontal
3. Línea central de visibilidad
4. Posición del ojo al nivel del puesto de gobierno
5. Estribor

NOTA - Para un puesto de gobierno situado a babor o estribor, se requieren los mismos de visibilidad a babor y estribor.

Fig.5 - Posición de planeo



Leyenda

1. Superficie del agua
2. Quilla exterior, si existe

5. Campo de visibilidad horizontal hacia popa

5.1 NA

5.2 NA

EN ISO 11812:2001. Bañeras estancas y bañeras de vaciado rápido

2. Normas para consulta

ISO 8666. Embarcación de recreo. Datos principales

ISO 9093 - 1:1994. Embarcación de recreo. Grifos de fondo y pasacascos. Parte 1: Metálicos.

ISO 9093 - 2:1994. Embarcación de recreo. Grifos de fondo y pasacascos. Parte 1: No metálicos.

ISO 12216. NA

ISO 12217 - 1. NA

ISO 12217 - 2. NA

ISO 12217 - 3. Embarcación de recreo. Evaluación y categorización de estabilidad y flotabilidad. Parte 1: Embarcaciones de eslora menor de 6 m.

3. Términos y definiciones

Para los fines de esta norma internacional se aplican los siguientes términos y definiciones.

3.1 Categoría de diseño: Descripción de las condiciones de viento y mar para las que la embarcación se considera adecuada. *(Especificadas en el 18571 - Real Decreto 2127/2004, de 29 de Octubre)*

3.2 Eslora L_H : Longitud del casco según la Norma ISO 8666 (m).

3.3 Manga máxima $B_{m\acute{a}x}$: Manga total de una embarcación monocasco o multicasco de acuerdo con la Norma ISO 8666 (m).

3.4 Línea de flotación WL: Línea de flotación en la situación a plena carga lista para navegar.

3.5 Francobordo al centro F_M : Francobordo a mitad de la línea de flotación en situación a plena carga lista para navegar de acuerdo con la Norma ISO 8666.

3.6 Embarcación a vela: NA

3.7 Embarcación sin vela: Embarcación no diseñada para utilizar velas como medio de propulsión principal, tal como se define en la Norma ISO 12217-1.

3.8 Bañera y nicho: Cualquier área que pueda retener agua, aunque sea brevemente, debido a lluvia, olas, escora del buque, etc.

NOTA

- Las bañeras están normalmente diseñadas para alojar personas pero para los fines de esta norma internacional, el término “bañera” se utilizará tanto para una bañera propiamente dicha como para cualquier nicho. Esto significa que
- las amuras pueden crear una gran bañera
- las embarcaciones abiertas pueden incluir de forma efectiva una bañera que incluye casi toda la embarcación,
- las bañeras pueden estar situadas en cualquier punto de la embarcación, y una bañera puede estar abierta en popa a la mar.

3.9 bañera o nicho estanco: Bañera o nicho que satisface los requisitos de esta norma internacional en cuanto a estanqueidad u alturas de zócalo pero no en cuanto a drenado o vaciado.

3.10 Bañera o nicho de vaciado rápido: Bañera con características y capacidad de vaciado que satisface todos los requisitos de esta norma internacional para una o varias categorías de diseño.

3.11 Suelo de la bañera: Superficie(s) fundamentalmente horizontal(es) de la bañera en la que las personas están de pie normalmente.

3.12 Fondo de la bañera: Superficie más baja del suelo de la bañera en la que se recoge el agua antes de ser achicada.

3.13 Cubierta de puente: Área inmediatamente exterior de la abertura de bajada y encima del fondo de la bañera, en la que las personas normalmente pisan antes de entrar en la habitación.

3.14 Dispositivo de cierre: Dispositivo utilizado para cubrir una abertura en la bañera, casco o superestructura.

3.15 Altura de retención de agua en la bañera h_c : Altura del agua contenida en la bañera medida entre el fondo de la bañera y el punto de rebose al costado, estando el buque adrizado, con reposo y a plena carga.

Nota 1 - La altura corresponde al punto más bajo en el que el área de rebose, expresada en metros cuadrados, es $> 0,005 L_H B_{máx}$, y es normalmente el punto más bajo de la brazola de la bañera.

Nota 2 - Para evaluar h_c , se considera que todos los dispositivos de cierre, incluyendo la o las puertas de bajada están cerrados.

3.16 Altura del fondo de la bañera H_B : Altura del fondo de la bañera por encima de la línea de flotación, estando la embarcación adrizada, en reposo y a plena carga.

3.17 Altura mínima del fondo de la bañera: Valor mínimo de H_B requerido por esta norma internacional.

3.18 Desagüe: Salida de la bañera que permite que el agua contenida se descargue por el costado por gravedad.

Nota - Un desagüe puede ser

- una tubería que descarga por costado por encima o por debajo de la línea de flotación,
- una parte de la bañera que permite la descarga directa por la borda,
- imbornales y portas de desagüe,
- etc.

3.19 Abertura de bajada: NA

3.20 Puerta de la bajada de acceso: NA

3.21 Paneles de cierre: NA

3.22 Zócalo: Barrera por encima de la cual puede entrar el agua de la bañera en las aberturas de bajada e inundar la embarcación.

3.23 Zócalo fijo: Zócalo que constituye una parte fija, integral y permanente de la bañera

3.24 Zócalo semifijo: Cualquier dispositivo de cierre móvil pero permanente unido al buque que, cuando está en su sitio, forma un zócalo más alto que el zócalo fijo.

3.25 Altura del zócalo h_s : Altura del zócalo, bien de la parte superior del zócalo fijo, bien de la parte móvil de un zócalo semifijo, cuando está cerrado.

3.26 Altura mínima del zócalo h_{smin} : Valor mínimo de la altura del zócalo requerido por esta norma internacional.

3.27 Volumen de la bañera V_c : Volumen de agua, en metros cúbicos, que puede quedar contenida de forma instantánea en la bañera antes de descarga, que es el volumen por debajo de h_c .

3.28 Coeficiente de volumen de bañera k_c : Relación entre el volumen de la bañera y la reserva de flotabilidad.

$$Kc = \frac{VC}{LH Bmax FM}$$

3.29 Grado de estanqueidad: Capacidad de un dispositivo de cierre, accesorio o superficie, para resistir la entrada de agua de acuerdo con las condiciones de protección frente al agua.

- Grado 1: Grado de estanqueidad que proporciona protección contra los efectos de inmersión continua en agua.
- Grado 2: Grado de estanqueidad que proporciona protección contra los efectos de inmersión temporal en agua.
- Grado 3: Grado de estanqueidad que proporciona protección contra salpicaduras de agua.
- Grado 4: Grado de estanqueidad que proporciona protección contra los efectos de caída de agua desde un ángulo de hasta 15º desde la vertical.

4 Símbolos

5 Requisitos generales

Las condiciones de carga para los apartados 5.2 a 5.4 son “a plena carga listo para su uso”.

5.2 Requisitos para bañeras y nichos “estancos”

Una bañera o nicho “estanco” debe

- tener sus zócalos de acuerdo con el capítulo 8, y
- mostrar un grado de estanqueidad de acuerdo con el capítulo 9.

5.3 Requisitos para bañeras y nichos de “vaciado rápido”

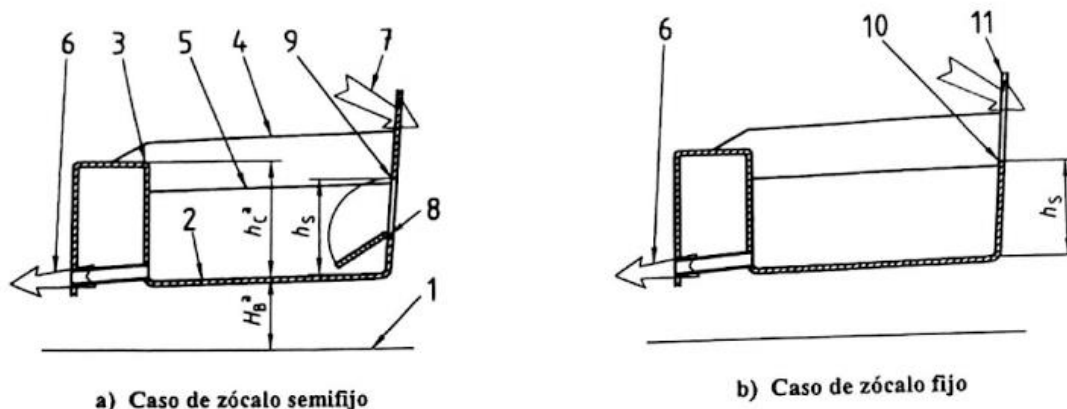
Una bañera o nicho de vaciado rápido debe

- tener su altura del fondo H_B por encima de la línea de flotación de acuerdo con el capítulo 6;
- tener sus dispositivos de vaciado de acuerdo con el capítulo 7;
- tener sus zócalos de acuerdo con el capítulo 8;
- mostrar un grado de estanqueidad de acuerdo con el capítulo 9.

Por simplicidad, la parte principal de esta norma internacional considera que las bañeras tienen un único nivel del fondo.

La figura 1 da esquemáticamente las alturas principales utilizadas en esta norma internacional para bañeras de fondo de un único nivel.

Sección longitudinal esquemática de una bañera



Leyenda

1. Línea de flotación
2. Fondo de bañera
3. Punto de rebose
4. Brazolas. Cámaras y compartimentos
5. Asientos
6. Desagüe
7. Acceso a entrada
8. Parte superior de la parte fija
9. Parte superior de la parte móvil
10. Parte superior del zócalo fijo
11. Acceso cerrado por paneles

5.4 Dispositivos de cierre

Los dispositivos de cierre instalados en bañeras estancas y bañeras de vaciado rápido, y que dan acceso al interior de la embarcación, deben cumplir los requisitos de la Norma ISO 122126 y del capítulo 9.

6 Requisitos para fondos de bañera de vaciado rápido

6.1 Altura mínima del fondo de bañera, $H_{B,min}$

La altura mínima del fondo de bañera, $H_{B,min}$ por encima de la línea de flotación debe cumplir la tabla 2.

Tabla 2
Altura mínima $H_{B,min.}$ del fondo de bañera

Medidas en metros

Categoría de diseño	Altura $H_{B,min.}$
A	0,15
B	0,1
C	0,075
D	0,05
NOTA - Pueden requerirse valores superiores a estos valores mínimos para alcanzar el tiempo de vaciado aceptable máximo de acuerdo con el apartado 7.2.	

6.2 Excepción al apartado 6.1 para nichos y paños

6.2.1 Excepción de hasta 10% del fondo de la bañera. No se requiere que superficies de hasta un total del 10% de la proyección horizontal del fondo de la bañera cumplan con el apartado 6.1. Entre estas superficies, aquellas que contengan agua, después de que se haya drenado la bañera deben considerarse como llenas de agua cuando se evalúe la situación de plena carga.

6.2.2 Paños en el fondo de la bañera: NA

7 Requisitos para vaciado de bañeras de vaciado rápido.

7.1 Vaciado de la bañera

7.1.1 Generalidades: El vaciado debe ser únicamente por gravedad.

7.1.2 Cuando la embarcación está adrizada: Cuando la embarcación está adrizada, debe drenarse al menos el 98% del volumen de la bañera, excluyendo cualquier nicho de acuerdo con las excepciones del apartado 6.2.

7.1.3 Cuando el buque está escorado: Los requisitos de los apartados 7.1.3.1 y 7.1.3.2 deben cumplirse cuando la embarcación tiene escora tanto a babor como a estribor.

7.1.3.1 Monocasco a vela: NA

7.1.3.2 Embarcaciones y multicascos sin vela. En embarcaciones y multicascos sin vela el vaciado debe de ser de al menos el 90% de V_c a 10° de escora.

7.2 Tiempo de vaciado

El tiempo de vaciado es el tiempo necesario para vaciar la bañera desde la altura de agua total, h_c , hasta que quede un resto de 0,1 m por encima del fondo de la bañera.

El tiempo de vaciado debe medirse o calcularse con todos los dispositivos cerrados.

Si la sección de desagüe, expresada en metros cuadrados, es mayor o igual a 0,05 V_c , se considera suficientemente grande para cumplir los requisitos y no hace falta una evaluación del tiempo de desagüe.

Para otras configuraciones de vaciado, debe evaluarse el tiempo de desagüe y no debe ser mayor de $t_{\text{máx}}$. Dado por las fórmulas de tabla 3 o por las curvas de la figura 2.

Tabla 3
Tiempo de vaciado máximo aceptable, $t_{\text{máx}}$

Categoría de diseño	Tiempo en minutos
	$t_{\text{máx}}$
A	$0,3/k_C$ pero no mayor de 5
B	$0,45/k_C$ pero no mayor de 5
C	$0,6/k_C$ pero no mayor de 5
D	$0,9/k_C$ pero no mayor de 5

El volumen de la bañera, V_C , debe medirse desde el fondo de la bañera hasta la parte superior de h_C , con la excepción eventual del apartado 6.2, suponiendo que todos los dispositivos de cierre y drenaje están cerrados.

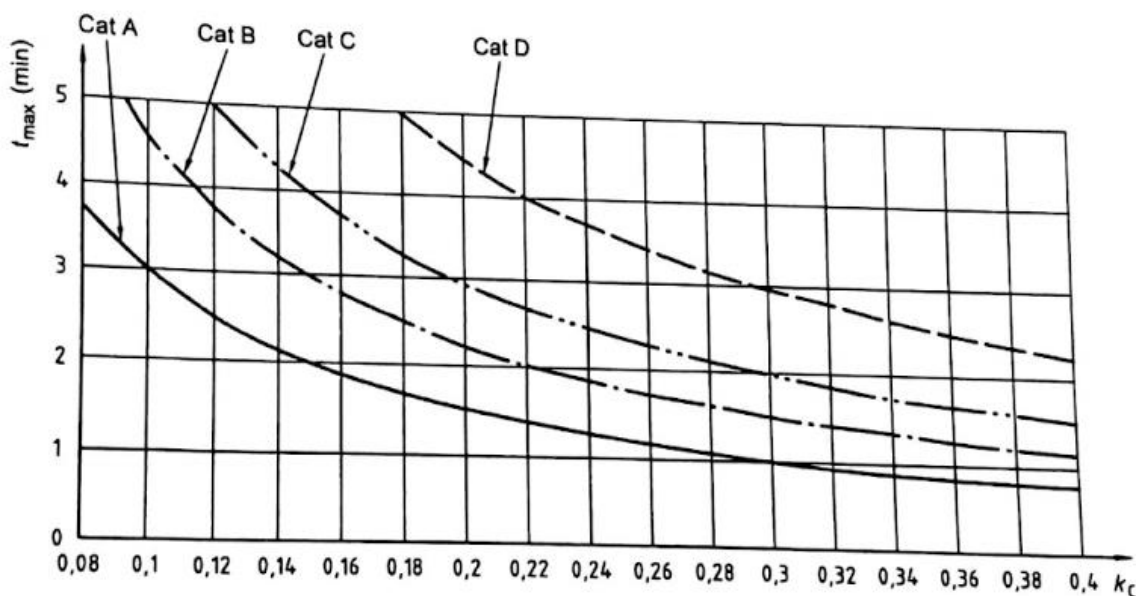


Fig. 2 – Tiempo de vaciado aceptable máximo $t_{\text{máx}}$ según k_C y la categoría de diseño

7.3 Número de desagües

Una bañera de desagüe rápido debe tener como mínimo dos desagües, uno a babor y uno a estribor, a menos que una abertura permita el drenaje del buque cuando está escorando tanto a babor como a estribor, según se requiere en el apartado 7.1.

7.4 Medidas mínimas de los desagües

7.4.1 Medidas internas del desagüe. Los desagües con sección transversal circular deben tener un diámetro de al menos 25 mm. Los desagües con otras formas de sección transversal deben tener un área de sección transversal de al menos 500 mm² y una medida mínima de 20 mm.

7.4.2 Rejillas protectoras eventuales: NA

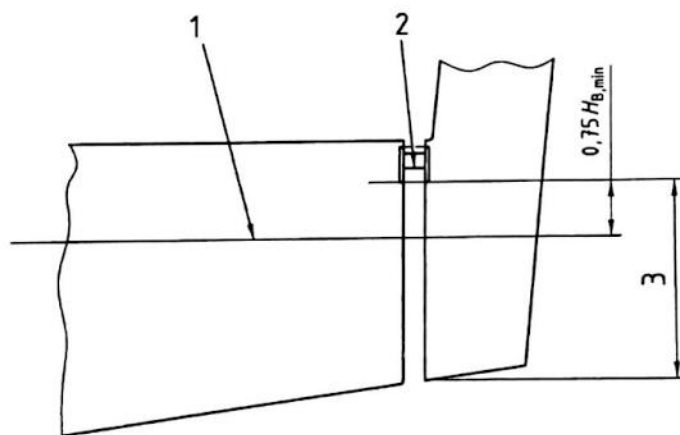
7.5 Cajas de orza centrales y otros tipos de desagüe NA

7.6 Instalación del desagüe

La salida de desagüe que pase a través del casco debe colocarse encima de la línea de flotación o, si está colocada debajo de la línea de flotación, estar equipada con tapones de fondo (véase el apartado 7.7), a menos que la salida de desagüe sea una parte integral del casco que se extienda desde la salida hasta al menos $0,75 H_{Bmin}$, por encima de la línea de flotación.

La figura 3 muestra una salida de desagüe integrada en el casco.

Fig.3 – salida de desagüe como parte integral del casco



Leyenda

1. Línea de flotación
2. Parte superior de penetración integral por encima de $0,75 H_{Bmin}$; No es necesario tapón de fondo.
3. En esta área, el desagüe es parte integral del casco

7.7 Diseño y construcción de tuberías de desagüe

El escantillonado y el diseño de desagüe debe tener en cuenta todas las cargas a que puedan estar sometidos. La tubería de desagüe debe protegerse contra daños provocados por objetos sueltos estibados en la embarcación y contra golpes o pisotones. La tubería de desagüe no debe retener agua y debe únicamente usarse para el vaciado de la bañera.

7.8 Evaluación del tiempo de desagüe

7.8.1 General: El tiempo de drenaje debe determinarse bien por medición del tiempo de desagüe real, bien por cálculo.

7.8.2 Medición del tiempo de desagüe real: NA

7.8.3 Cálculo del tiempo de drenaje: En el apartado 7.8.4 se ofrece un método rápido aproximado para calcular el tiempo de desagüe que puede diferir del real. Pero ambos se consideran métodos válidos.

En el anexo C se especifican métodos de cálculo más minuciosos.

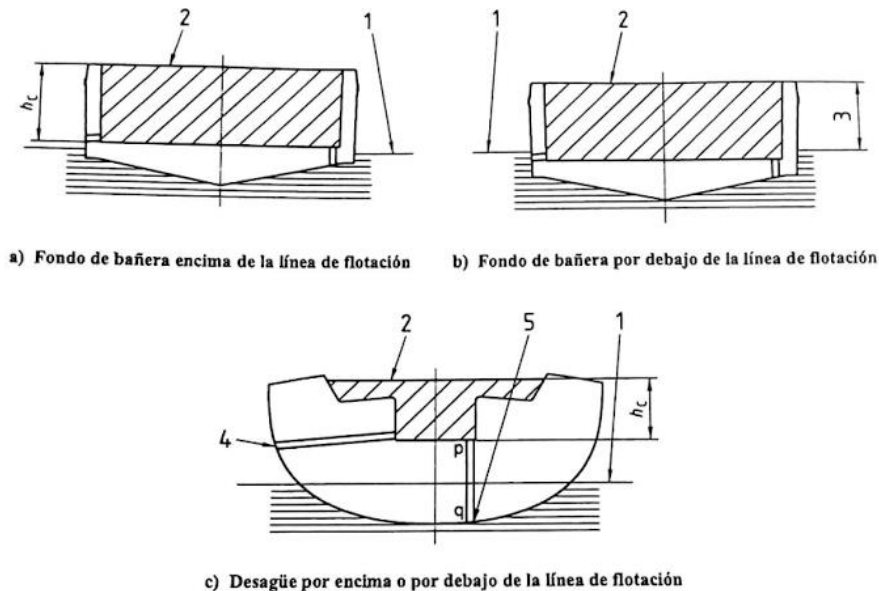
7.8.4 Método rápido de cálculo para bañeras dotadas de dos desagües

7.8.4.1 Paso 1: Determinación del tiempo de drenaje máximo requerido t_{\max} : Se determina t_{\max} , usando $K_c = V_C / (L_H B_{\max} F_M)$, es decir, el coeficiente de volumen de la bañera de acuerdo con el apartado 7.2.

7.8.4.2 Paso 2: Determinación del tiempo de desagüe de referencia t_{ref} : Se calcula $t_{\text{ref}} = t_{\max} / V_C$ que es el tiempo de desagüe de referencia (sin pérdida de carga) para un conjunto de dos desagües.

7.8.4.3 Paso 3: Se determina si la salida del desagüe está encima o debajo de la línea de flotación: Se determina si la salida del desagüe está encima o debajo de la línea de flotación cuando la bañera está llena. Si la salida de desagüe está encima de la línea de flotación, entonces la bañera está vacía y bajo ella cuando la bañera está llena, entonces debe adoptarse una postura conservadora asumiendo que el desagüe está siempre por debajo de la línea de flotación, o bien hacer el cálculo en ambos casos y calcular el tiempo final por interpolación.

Ejemplos en figura 4. Ejemplos de algunas disposiciones de drenaje.



Leyenda

1. Línea de flotación
2. Nivel de rebose del agua
3. Altura por encima de la línea de flotación
4. Descarga por encima de la línea de flotación
5. Descarga por debajo de la línea de flotación

7.8.4.4 Paso 4: Determinación del diámetro de desagüe requerido: La tabla 4 da el tiempo de desagüe aproximado para seis casos: desagüe por encima o por debajo de la línea de flotación, sin codo o con dos codos, y porta de desagüe con y sin tapa. Pueden usarse interpolaciones.

Tabla 4
Diámetro de desagüe como función de t_{ref} y disposición de desagüe típica

Disposición de desagüe típica	Valores de t_{ref} (min)																
	8,8	5,8	4,1	3,0	2,3	1,8	1,5	1,2	1,0	0,9	0,8	0,7	0,5	0,4	0,3	0,2	0,2
Salida del desagüe por encima de W_L , sin codo	10,0	6,7	4,7	3,5	2,7	2,2	1,8	1,5	1,3	1,1	0,9	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2
Salida del desagüe por encima de W_L , dos codos	10,8	7,2	5,1	3,9	3,0	2,4	2,0	1,6	1,4	1,2	1,0	0,9	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3
Salida del desagüe por debajo de W_L , sin codo	11,8	7,9	5,7	4,3	3,3	2,7	2,2	1,8	1,5	1,3	1,2	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3
Salida del desagüe por debajo de W_L , dos codos	10,1	7,0	5,2	3,9	3,1	2,5	2,1	1,8	1,5	1,3	1,1	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3
Porta de desagüe por encima de W_L , sin tapa	15,2	10,5	7,7	5,9	4,7	3,8	3,1	2,6	2,2	1,9	1,7	1,5	1,2	0,9	0,8	0,7	0,6
Porta de desagüe por encima de W_L , sin tapa	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	90	100	110	120	130
Diámetro de desagüe " d " (mm) dos desagües	140	150															

Para una sección de desagüe no circular, el área de sección debe ser la misma que para un desagüe circular.

8 Requisitos para zócalos

8.1 Altura de zócalo para bañeras estancas

Las bañeras estancas no deben tener aberturas por debajo de la altura h_c .

8.2 Altura de zócalo y otros requisitos para bañeras de desagüe rápido

8.2.1 Medición de la altura del zócalo: Cuando se mida la altura de zócalo, debe considerarse que están cerrados todos los dispositivos de cierre, con excepción de la puerta(s) de bajada. La altura de zócalo es la altura inferior de todas las aberturas consideradas como zócalos,

Cualquier mamparo vertical o mamparo parcial cortado por otra abertura de bajada que lleve al interior, y colocada cerca de una bañera o en la cubierta, debe cumplir todos los requisitos de altura de zócalo y estanqueidad de este capítulo 8 así como del capítulo 9.

La altura de zócalo debe medirse de forma vertical desde el fondo de la bañera hasta el punto más bajo en el borde del zócalo que permita la entrada de agua.

Si el fondo de la bañera no es horizontal, la altura de zócalo debe medirse desde el punto más cercano al fondo de la bañera.

8.2.2 Requisitos para la altura de zócalo de bañeras de desagüe rápido: La altura de zócalo mínima requerida h_{smin} según el tipo de embarcación y la categoría de diseño se da en la tabla 5.

El valor de h_{smin} puede utilizarse en el capítulo 9 o el anexo A cuando se consideren bañeras de niveles múltiples.

Tabla 5
Valores mínimos $h_{S,min.}$ para zócalos fijos y semifijos

Categoría de diseño	Monocascos a vela			Embarcaciones sin vela y monocascos a vela		
	Zócalo fijo	Zócalo semifijo		Zócalo fijo	Zócalo semifijo	
	Altura del zócalo $h_{S,min.}$	Altura de la parte fija $h_{S,min.}/2$	Altura de la parte móvil $h_{S,min.}$	Altura del zócalo $h_{S,min.}$	Altura de la parte fija $h_{S,min.}/2$	Altura de la parte móvil $h_{S,min.}$
A	0,3	0,15	0,3	0,2	0,1	0,2
B	0,25	0,125	0,25	0,15	0,075	0,15
C	0,15	0,075	0,15	0,1	0,05	0,1
D	0,05	0,025	0,05	0,05	0,025	0,05

NOTA – Los requisitos anteriores pueden aumentarse en otras normas internacionales tales como la Norma ISO 12217.

8.2.3 Requisitos para puertas de bajada y dispositivos por encima de la altura del zócalo: Por encima del nivel del zócalo, tanto si es fijo como semifijo, los dispositivos que cumplan la Norma ISO 12216 deben utilizarse para cerrar las aberturas, al menos hasta h_c .

8.2.4 Otros requisitos: Los zócalos semifijos y paneles de la puerta de acceso deben tener un dispositivo que los mantenga en su lugar, cuando estén en uso, que debe ser como mínimo manejable desde el interior.

Los zócalos y paneles de la puerta de acceso semifijos deben cumplir los requisitos de resistencia de la Norma ISO 12216. Los zócalos semifijos deben poder separarse únicamente utilizando herramientas. Deben tomarse disposiciones para que los paneles de la puerta de acceso se estiben en un lugar específico inmediatamente accesible en la proximidad de la bajada.

9 Requisitos de estanqueidad

9.1 Estanqueidad de bañeras estancas

Todas las superficies de bañera estancas hasta h_c deben tener una estanqueidad de grado 1.

9.2 Estanqueidad de bañera de desagüe rápido

9.2.1 Estanqueidad de la bañera: Todas las superficies de bañeras de desagüe rápido hasta h_c deben tener una estanqueidad de grado 1. El grado de estanqueidad de los dispositivos de cierre debe ser tal como se exige en la tabla 6.

Tabla 6
Grado requerido de estanquidad de dispositivos de cierre de bañeras de desagüe rápido

Situación del dispositivo de cierre de la bañera	Grado de estanquidad
Dispositivo de cierre en área del fondo y horizontales	2
Dispositivo de cierre en lados de la bañera hasta $h_{s,min}$.	2
Dispositivo de cierre en lados de la bañera entre $h_{s,min}$ y $2 h_{s,min}$. ^a	3
Dispositivo de cierre en lados de la bañera encima de $2 h_{s,min}$. ^a	4
NOTA 1 – Los requisitos anteriores pueden aumentarse en otras normas internacionales, tales como la Norma ISO 12217.	
NOTA 2 – Los requisitos anteriores se aplican únicamente a dispositivos que cubran aberturas que den acceso a la parte interior (no de desagüe rápido) de la embarcación (véase el apartado 6.2.2).	
^a $h_{s,min}$ se mide desde la parte más cercana al fondo de la bañera. El anexo informativo A explica cómo deben considerarse los ejemplos principales de disposición de bañera.	

Las escotillas y accesorios situados en el fondo o los costados de la bañera hasta $h_{s,min}$ deben ir equipados con sellos y zócalos al menos 12 mm de altura, o ensayarse tal como están instalados hasta un grado 2 de estanquidad de acuerdo con el anexo E.

9.2.2 Aberturas de ventilación permanentemente abiertas: NA

EN ISO 12217-3:2002. Pequeñas embarcaciones. Evaluación y clasificación de la estabilidad y flotabilidad. Parte 3: Embarcaciones de eslora inferior a 6 m.

2 Normas para consulta

ISO 8666 - Embarcación de recreo. Datos principales.

ISO 9093 - 1:1994. NA

ISO 9093-2. NA

ISO 12216 - Embarcaciones de recreo. Ventanas, portillos, escotillas, tapas ciegas y puertas. Requisitos de resistencia y estanquidad.

ISO 12217-1. NA

ISO 12217-2. NA

ISO 12217-3. Embarcaciones de recreo. Evaluación y categorización de estabilidad y flotabilidad. Parte 1: Embarcaciones de eslora menor de 6 m.

3 Términos y definiciones

3.1 Principales

3.1.1 Categoría de diseño

3.1.2 Nicho: Cualquier volumen abierto al exterior que pueda retener agua.

3.1.3 Nicho de achique rápido: Nicho que cumple todos los requisitos de la Norma ISO 11812 para "cabinas y nichos de achique rápido".

3.1.4 Nicho estanco: Nicho que cumple los requisitos de la Norma ISO 11812 para “cabinas y nichos estancos”. No significa que cumpla también con las de achique.

3.1.5 Embarcación con cubierta completa: Embarcación en la que la proyección horizontal del área total de diseño comprende cualquier combinación de:

- Cubiertas estancas y superestructuras, y/o
- Nichos de achique rápido que cumplan la Norma ISO 11812, y/o
- nichos estancos que cumplan la Norma ISO 11812 con un volumen conjunto inferior a $L_H B_H F_M / 40$, todos los dispositivos deben ser estancos al agua de acuerdo con la norma ISO 12216.

3.1.6 Embarcación con cubierta parcial: NA

3.2 Inundación

3.2.1 Abertura inundable: Cualquier abertura (incluyendo el borde de un nicho) que pueda admitir agua en su interior o en la sentina de una embarcación, o un nicho, aparte de las que están excluidas en el apartado 6.2.1.1.

3.2.2 Altura de inundación h_D : La menor altura a partir de la línea de flotación hasta cualquier abertura inundable, aparte de las que están excluidas en el apartado 6.2.1.1, encontrándose la embarcación adrizada en aguas tranquilas (m).

3.3 Condición y peso

3.3.1 Condición de embarcación en rosca: Embarcación equipada con el peso en rosca de acuerdo con la Norma ISO 8666, incluyendo cuando corresponda lo siguiente, colocado adecuadamente:

- a) cuando esté prevista la propulsión mediante un motor fuera borda de más de 3 kW, se debe montar en la posición de trabajo el mayor motor recomendado por el fabricante de la embarcación;
- b) cuando existan baterías, se debe montar en la posición propuesta por el constructor;
- c) NA
- d) NA

Nota: el peso permitido para las baterías de los motores fuera borda no debe ser inferior al que figura en la columna 3 de las tablas B.2 y B.3. Si no hay un lugar específico para la estiba de las baterías, el peso de cada batería de los motores superiores a 7 kW debe estar previsto para situarse a menos de 1,0 m de la posición de los motores.

3.3.2 Carga máxima total, m_{MTL} : Carga máxima que la embarcación está proyectada para llevar además de la condición de embarcación en rosca, incluyendo el máximo peso recomendado por el fabricante tal y como se define en la norma ISO 14946, y comprendido todos los líquidos (por ejemplo combustibles, aceites, agua dulce, agua de lastre o tanques para cebos y pozos de peces vivos) hasta la máxima capacidad de los tanques fijos o portátiles (Kg).

3.3.3 Peso del desplazamiento en carga, m_{LDC} : Peso de la embarcación en la condición en rosca añadiendo la carga máxima total (Kg).

3.4 Otras definiciones

3.4.1 Tripulación: Conjunto de todas las personas a bordo de la embarcación

3.4.2 Tripulación límite, CL: Máximo número de personas (con un peso de 75 kg cada una) utilizado para evaluar la categoría de diseño.

3.4.3 Asiento de diseño: Disposición longitudinal de la embarcación cuando está adrizada, con la tripulación, provisiones y equipo en la posición asignada por el diseñador o constructor.

3.4.4 Elemento de flotación: Elemento que proporciona flotabilidad a la embarcación y de este modo influye en las características de la flotación.

3.4.4.1 Tanque de aire: Tanque hecho con el material constructivo del casco, integrado en el casco o en la estructura de la cubierta.

3.4.4.2 Contenedor de aire: Contenedor hecho de material rígido, no integrado en el casco o la estructura de la cubierta.

3.4.4.3 Material de baja densidad: Material con una gravedad específica menor de 1,0 incorporado principalmente a la embarcación para aumentar la flotabilidad cuando se llena de agua.

3.4.4.4 Collar protector: Collar tubular de material resistente fijado a todo el borde de la embarcación que debe estar inflado cuando la embarcación se está utilizando.

3.4.4.5 Bolsa inflable: NA

3.4.5 Línea de flotación en carga: Línea de flotación de la embarcación cuando está adrizada, con el peso del desplazamiento en carga y el asiento de diseño.

3.4.6 Grado de estanqueidad: Capacidad de un dispositivo de cierre, accesorio o superficie, para resistir la entrada de agua de acuerdo con las condiciones de protección frente al agua.

- Grado 1: Grado de estanqueidad que proporciona protección contra los efectos de inmersión continua en agua.
- Grado 2: Grado de estanqueidad que proporciona protección contra los efectos de inmersión temporal en agua.
- Grado 3: Grado de estanqueidad que proporciona protección contra salpicaduras de agua.
- Grado 4: Grado de estanqueidad que proporciona protección contra los efectos de caída de agua desde un ángulo de hasta 15º desde la vertical.

4 Símbolos

5 Procedimiento

5.1 Carga máxima total

Determina la tripulación límite y la carga máxima total que la embarcación puede llevar de acuerdo con las definiciones. La tripulación no debe ser superior a los asientos o espacios para estar de pie que fijan los requisitos de la Norma ISO 14946.

5.2 Propulsada o no propulsada a vela: NA

5.3 Ensayos que se deben aplicar

Las embarcaciones no propulsadas a vela se deben evaluar utilizando el capítulo 6.

6 Ensayos que se deben aplicar a las embarcaciones no propulsadas a vela

Tabla 3
Ensayos a realizar para las embarcaciones no propulsadas a vela

Opción	1 ^a	2	3 ^a	4	5	6 ^a
Aplicables a los cascos de eslora	Hasta 6,0 m			Desde 4,8 m hasta 6,0 m		
Categorías de diseño posibles	C y D	C y D	D	C y D	D solamente	C y D
Aplicable a motores de una potencia de	Cualquiera	Cualquiera	< 3 kW	Cualquiera	Cualquiera	Cualquier tipo
Aplicable a los siguientes tipos de instalación de motores	Cualquier tipo	Cualquier tipo	Cualquier tipo	Cualquier tipo	Cualquier tipo	Motores intraborda solamente
Cubiertas o protecciones	Cualquiera	Cubierta completa ^b	Cualquiera	Cubierta parcial ^c	Cualquiera	Cualquiera
Ensayo de la altura de inundación	6.2 ^d	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2
Ensayo de compensación de cargas	6.3	6.3	—	6.3	6.3	6.3
Grado de flotación	A nivel	—	véase el apartado 6.6	—	—	Básico
Ensayo de flotación	6.4	—	véase el apartado 6.6	—	—	6.5
Elementos de flotación	Anexo C	—	Anexo C	—	—	Anexo C
Ensayo de recuperación después del vuelco	—	—	6.6	—	—	—

^a Se considera que las embarcaciones que utilicen las opciones 1, 3 y 6 son susceptibles de llenarse de agua cuando se utilicen en su categoría de diseño.

^b Este término se define en el apartado 3.1.5.

^c Este término se define en el apartado 3.1.6.

^d No se requiere efectuar este ensayo si, al inundarse durante el ensayo descrito en el apartado 6.4, la embarcación puede soportar un peso seco equivalente al 133% de la carga máxima total, o si la embarcación no se llena de agua cuando se escora hasta 90° desde la posición de adrizada estando en la condición de rosca.

6.2 Ensayos de la altura de inundación

6.2.1 Aberturas inundables

6.2.1.1 Se deben aplicar los requisitos que figuran más abajo, y en los apartados 6.2.2 y 6.2.3, a todas las aberturas inundables excepto:

- nichos estancos al agua de un volumen conjunto inferior a $(L_H B_H F_M)/40$, o nichos de achique rápido;
- conductos de drenaje de los nichos de achique rápido o de los nichos estancos al agua, si estando llenos, no llevan a la inundación o zozobra cuando la embarcación está adrizada;
- dispositivos no abiertos;
- dispositivos abiertos situados en las partes superiores que cumplan con la Norma ISO 12216 para una estanqueidad de grado 2 y a los que se haga referencia en el Manual del propietario y en los que esté claramente marcado "CIERRE ESTANCO - MANTENER CERRADO DURANTE LA NAVEGACIÓN"; y que sean
 - escotillas de salida de emergencia o dispositivos fijados con cierres atornillados, o
 - estando en un compartimento de un volumen tan reducido que, incluso si está inundado, la embarcación satisface todos los requisitos, o

3. en una embarcación de la categoría de diseño C o D, en la que, cargada con peso del desplazamiento, no llegue a naufragar si el compartimento en cuestión se inunda como resultado de haberse dejado abierto el dispositivo
- e) dispositivos abiertos situados en el interior de las partes que cumplan con la Norma ISO 12216 para una estanqueidad de grado 2 y a los que se haga referencia en el Manual del propietario y en los que esté claramente marcado “CIERRE ESTANCO - MANTENER CERRADO DURANTE LA NAVEGACIÓN”;
- f) escapes de máquinas u otras aberturas que están solamente conectadas a los sistemas de estanqueidad;
- g) NA

6.2.1.2 Todos los dispositivos cerrados aptos para las aberturas inundables deben cumplir la Norma ISO 12216, de acuerdo con la categoría de diseño y la zona en la que esté situado el dispositivo.

6.2.1.3 No se deben instalar en el caso dispositivos de tipo abierto a menos de 0,2 m por encima de la línea de flotación en carga, a menos que cumplan la Norma ISO 9093 o sean escotillas de salida de emergencia de acuerdo con la Norma ISO 9094.

6.2.1.4 Las aberturas en el interior de la embarcación, tales como troncos para motores fuera borda y tanques para peces o cebo que floten libremente, deben considerarse como posibles aberturas de inundación.

6.2.2 Con la carga máxima

6.2.2.1 Ensayo. Este ensayo sirve para demostrar que la embarcación dispone de un margen suficiente de francobordo en la condición de desplazamiento en carga antes de que se embarque agua a bordo.

Este ensayo no es necesario para las embarcaciones evaluadas para utilizar la opción 1 si, durante el ensayo de flotabilidad previsto en el apartado B.4.3, se comprueba que la embarcación puede soportar un peso seco equivalente al 133% de la carga máxima total o si la embarcación no se llena de agua cuando se escora hasta 90º desde la posición de adrizada estando en la condición de rosca.

Este ensayo debe realizarse utilizando el personal que se describe a continuación, mediante los pesos de ensayo que representan al personal (a razón de 75 Kg por persona), o por medio de cálculos (utilizando el plano de formas y el desplazamiento calculado a partir del pasaje o la medición de los francobordos).

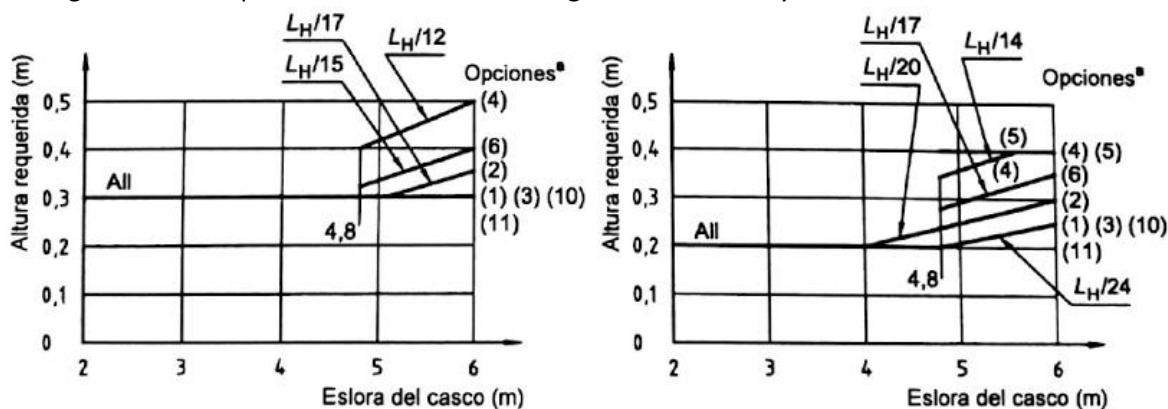
- a) Se selecciona un número de personas igual a la tripulación límite, cuyo peso medio no sea inferior a 75 Kg.
- b) Se carga la embarcación, en aguas tranquilas, con todos los elementos que constituyen la carga máxima total, y con las personas colocadas de forma que se consiga el asiento de diseño.
- c) Se mide la altura desde la línea de flotación hasta los puntos por los que puede comenzar a entrar agua por cualquier abertura inundable tal y como se describe en el apartado 6.2.1.1. Cuando una abertura inundable esté completamente protegida por

una brazola más alta alrededor del nicho del que sobresale, la altura inundable se debe medir hasta el punto más bajo de la brazola.

6.2.2.2 Requisitos

- Se determina la categoría de diseño comparando las mediciones efectuadas con los requisitos para una altura mínima de inundación, modificadas según los puntos b) al f) siguientes, usando bien
 - las normas del anexo A, que generalmente dan los requisitos más bajos, o
 - la figura 2 que está basada solamente en la eslora de la embarcación.
- Para las embarcaciones evaluadas para utilizar las opciones 1, 3, 5 o 6 se debe incrementar la altura de inundación requerida comprendida en $L_H/3$ a partir de proa tal y como se muestra en la figura 3.
- En las embarcaciones evaluadas para utilizar las opciones 1 o 3 está permitido reducir un 20% de la altura requerida de inundación en la zona donde se vaya a montar el motor fuera borda, siempre que la anchura de esta reducción sea mínima.
- Para las embarcaciones de la categoría de diseño C que utilicen la opción 1, se debe reducir la altura requerida de inundación en el espejo de popa en 0,05 m, siempre que dispongan a popa de un nicho estanco al agua (por ejemplo, una cabina de mando).
- En las embarcaciones evaluadas utilizando la figura 2 están permitidas la aberturas inundables que tengan un área conjunta libre, expresada en milímetros cuadrados (mm^2), de no más de $(50 L_H^2)$ comprendida dentro de la cuarta parte de L_H a popa, siempre que la altura de inundación de esas aberturas no sea inferior a $\frac{1}{4}$ de la requerida en la figura 2.
- N.A.

Fig.2 - Altura requerida de inundación. Categoría de diseño C y D.

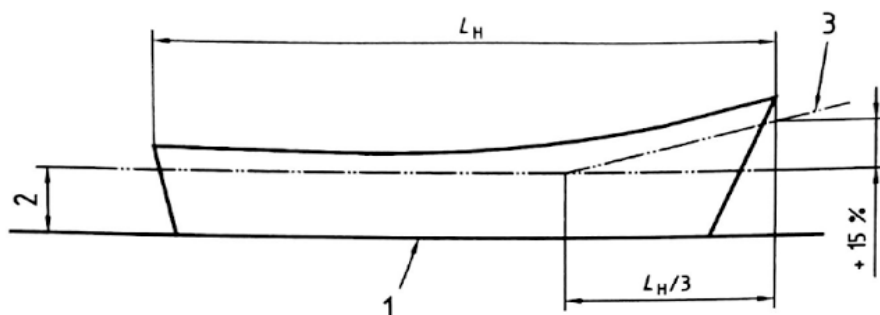


a Véase la tabla 3

a) Categoría de diseño C

b) Categoría de diseño D

Fig.3 - Incremento de la altura requerida de inundación. Opción 1, 3, 5 y 6 (véase la tabla 3)



Leyenda

1. Línea de flotación
2. Requisito de altura de inundación básica
3. Incremento requerido a proa

6.2.3 Embarcaciones fuera borda en su puesta en marcha. Solamente para las embarcaciones preparadas para un montaje externo de un motor fuera borda, se han de cumplir además los siguientes requisitos,

- Con la embarcación en la condición de rosca, y con el motor montado y una persona de un peso no inferior a 75 kg situada 0,5 m a proa del punto de amarre del motor, la menor altura desde la línea de flotación al punto en que la embarcación puede comenzar a inundarse a través de cualquier abertura inundable debe ser mayor a 0,1 m.
- El peso que se debe tomar para los motores de gasolina en las columnas 1 y 3 de la tabla B.1 y B.3 debe ser el adecuado a la potencia máxima recomendada para la embarcación por el constructor. Para todos los demás motores se debe tomar el peso real del motor.

6.3 Ensayo de compensación de pesos

6.3.1 Generalidades. Este ensayo sirve para comprobar que las embarcaciones insubmersibles tienen suficiente estabilidad ante una descompensación de pesos por la tripulación. Si resulta más conveniente, se pueden utilizar personas en lugar de los pesos de ensayo siempre que el peso de cada persona utilizada sea igual o superior al correspondiente peso de ensayo. En lugar de un ensayo práctico se pueden efectuar cálculos teóricos utilizando los pesos reales de la embarcación.

6.3.2 Ensayo

6.3.2.1 Se preparan los pesos de ensayo que representan a cada persona hasta la tripulación límite. Cada persona debe estar representada por un peso de 75 Kg exceptuando las embarcaciones de L_H inferior a 4,8 m de la categoría de diseño D, en las que se debe utilizar un peso de $75 \times L_H/4,8$.

6.3.2.2 Se carga la embarcación con todos los componentes de la carga máxima total a excepción de la tripulación

6.3.2.3 Al colocar los pesos de ensayo se utiliza el siguiente procedimiento, los pesos se deben instalar en todos los asientos y bancadas apropiados antes de colocarse en el fondo de la embarcación. Los pesos no se deben colocar en aquellos lugares en donde la gente no pueda

estar de pie o sentada. En caso de duda, se colocan los pesos en aquellos lugares en los que se produzca el resultado más desfavorable.

6.3.2.4 En aguas tranquilas, se añade los pesos de ensayo que representan la posición longitudinal y vertical que sea adecuada para una persona operando en la embarcación, y produzca un asiento lo más cercano posible al previsto por el constructor. Se debe colocar el centro de gravedad de los pesos de ensayo lo más lejos posible de un costado, pero no más cerca de 250 mm del borde exterior de la zona destinada para estar sentado o de pie.

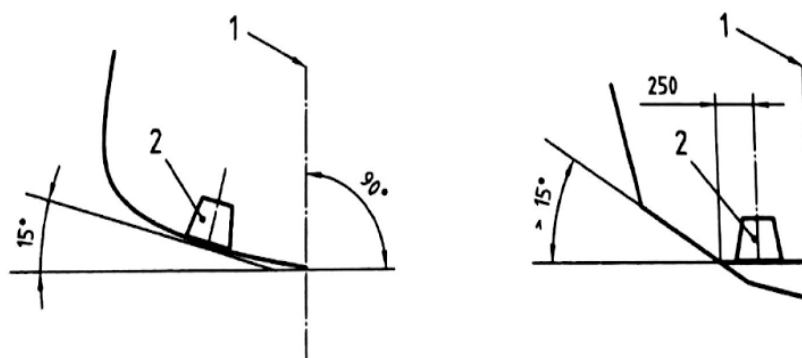
6.3.2.5 Se mide la menor altura desde la línea de flotación hasta el punto por el que el agua puede comenzar a penetrar en el interior de la embarcación. Para esta operación se puede excluir cualquier penetración en forma de pozo para un motor fueraborda auxiliar. Se repite en la dirección opuesta a la escora. La menor de estas dos medidas es el margen medido de francobordo. En las embarcaciones con cabinas de mando estancas o de achique rápido, el agua puede penetrar en la cabina a través de los desagües cuando se escora la embarcación, durante el ensayo, siempre que esta agua se expulse al exterior cuando la embarcación vuelva a la posición de adrizada. La altura debe medirse entonces hasta el punto por el que el agua comienza a penetrar en la sentina.

6.3.2.6 Se quitan los pesos de ensayo previamente instalados, y se colocan unos nuevos pesos que representan las posiciones longitudinales y transversales adecuadas para dos personas que manejen la embarcación, y produzca un asiento lo más cercano posible al previsto por el constructor. Se debe colocar el centro de gravedad de los pesos de ensayo lo más lejos posible de un costado, pero teniendo en cuenta que los pesos que representan a cada miembro de la tripulación no deben estar colocados con sus centros de gravedad de 500 mm uno del otro, o a menos de 250 mm del borde exterior de las zonas destinadas para estar sentados o de pie.

6.3.2.7 Se mide la menor altura desde la línea de flotación hasta el punto por el que el agua comienza a penetrar en el interior de la embarcación. Para esta operación se puede excluir cualquier penetración en forma de pozo para un motor fueraborda auxiliar. Se repite en la dirección opuesta a la escora. La menor de estas dos medidas es el margen medido de francobordo. En las embarcaciones con cabinas de mando estancas o de achique rápido, el agua puede penetrar en la cabina a través de los desagües cuando se escora la embarcación, durante el ensayo, siempre que esta agua se expulse al exterior cuando la embarcación vuelva a la posición de adrizada. La altura debe medirse entonces hasta el punto por el que el agua comienza a penetrar en la sentina.

6.3.2.8 Se repiten las operaciones de los apartados 6.3.2.6 y 6.3.2.7 para sucesivos incrementos de una persona cada vez hasta llegar a la tripulación límite, asegurándose de que los pesos estén colocados en todos los asientos y bancadas posibles antes de ponerlos en el fondo de la embarcación. En caso de duda se colocan los pesos en aquellos lugares en que se produzca un resultado más desfavorable. Cuando se coloquen en un fondo de embarcación curvado, el centro de gravedad de los pesos que representen personas no deben tener su tangente a más de 15° con respecto a la línea de flotación, véase la figura 4.

Fig. 4 - Colocación de los pesos de ensayo sobre el fondo de la embarcación



Leyenda

1. línea de crujía de la embarcación
2. Peso de ensayo

6.3.2.9 El ensayo se debe detener antes de que el agua penetre a bordo o la embarcación zozobre.

6.3.2.10 La menor de las medidas hechas de acuerdo con los apartados 6.3.2.5, 6.3.2.7 o 6.3.2.8 es el margen mínimo medido de franco bordo, que debe exceder al requerido para la opción apropiada que se da en la tabla 4.

Tabla 4
Margen mínimo requerido de franco bordo

Medidas en milímetros

Opción	1	2	3	4	5	6
Categoría de diseño C	100	100	100	150	No aplicable	100
Categoría de diseño D	10	10	10	10	250	10

6.3.2.11 Para las embarcaciones que se vayan a evaluar utilizando la opción 2 de la tabla 3, se deben satisfacer los siguientes requisitos adicionales, se debe determinar el ángulo de escora de la embarcación correspondiente a cada una de las mediciones de franco bordo requeridas de acuerdo con los apartados 6.3.2.5, 6.3.2.7 o 6.3.2.8. El mayor de estos ángulos (ϕ_0) no debe ser mayor que

$$\phi_{O(R)} = 10 + \frac{(24 - L_H)^3}{600} \quad (\text{véase la tabla 5})$$

Tabla 5
Opción 2: Ángulo máximo de escora para el ensayo de compensación de pesos

L_H	(m)	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
$\phi_{O(R)}$	(°)	26,6	25,4	24,4	23,3	22,4	21,4	20,6	19,7

6.4 Ensayo del nivel de flotación

Este ensayo sirve para comprobar que la embarcación tiene una adecuada flotabilidad y estabilidad.

Este ensayo se debe llevar a cabo utilizando el método completo que se da en la normativa del anexo B.

Cuando se utilicen elementos de flotación, éstos deben cumplir el anexo normativo C.

No hace falta realizar el ensayo de altura de inundación del apartado 6.2 si al inundar la embarcación de acuerdo con el anexo B, la misma es capaz de soportar un peso seco equivalente al 133% de la carga máxima total en lugar del peso dado en la tabla B.5 para el ensayo del apartado B.4.3, o si la embarcación no se llena de agua cuando se escora 90º desde la posición de adrizada en la condición de rosca.

6.5 Ensayo básico de flotación NA

6.6 Ensayo de recuperación al vuelco NA

7 Ensayos que se deben aplicar a las embarcaciones a vela NA

8 Aplicación

8.1 Decisión de la categoría de diseño

La categoría de diseño finalmente se otorga a una embarcación con respecto a su estabilidad y flotabilidad es aquella para la que la misma cumpla con todos los ensayos adecuados a la misma, tal y como se requiere en el apartado 6.1 y/o 7.1.

Anexo A. Método completo para calcular la altura de inundación requerida

Anexo B. Método para el ensayo de flotación

B.1 Generalidades

Los métodos que se describen en los apartados B.2, B.3 y B.4 se deben utilizar bien con un ensayo real o bien mediante un cálculo equivalente.

B.2 Condiciones para el ensayo

Durante los ensayos, la embarcación debe estar en aguas tranquilas, en la situación de peso en rosca y equipada como sigue:

1. Se debe añadir en el interior de la cubierta, en la línea de crujía a $L_H/2$, un peso equivalente al 25% de la carga seca y el equipo, incluido en la carga máxima total.
2. Se pueden reemplazar los elementos delicados, como los motores, por un peso adecuado en su lugar correspondiente
3. Para los motores fuera borda, se deben utilizar los de máxima potencia recomendada por el constructor. En las columnas 2 y 4 de las tablas B.1 y B.2 figuran los pesos adecuados para cada potencia que deben reemplazar a los motores de gasolina. Se pueden utilizar un peso mayor si así se indica en el manual del propietario. Se puede utilizar un peso del 86% del peso del motor en seco para motores fuera borda diésel, propulsores de chorro, o eléctricos, si se suministran como equipo estándar. Las embarcaciones equipadas para su uso tanto con como sin motor fueraborda deben ensayarse en ambas condiciones.

4. N.A.
5. Los centros de gravedad de los pesos de reemplazo, deben estar, en la medida de lo posible situados en la misma posición del centro de gravedad real del motor.
6. Se deben quitar los tanques portátiles. Los tanques fijos se pueden quitar o bien se pueden llenar con combustible o agua.
7. NA
8. NA
9. Los compartimentos vacíos que formen parte integral de la estructura de la embarcación y no cumplan con los requisitos para los tanques de aire del anexo C se deben dejar abiertos para que se comiencen a llenar de agua.
10. Las embarcaciones que vayan a estar propulsadas por motores de más de 3 kW y que dispongan de tanques de aire integrados y que tengan en su construcción juntas laminadas, encoladas, soldadas o empernadas, y cuyos tanques de aire no cumplan con el aumento de presión de ensayo del anexo C, deberán tener un cierto número de tanques de aire abiertos a la atmósfera durante el ensayo, de acuerdo con la tabla B.3.

TABLA B.1 Peso de las instalaciones de un solo motor					TABLA B.2 Peso de las instalaciones de dos motores				
Potencia del motor kW	Motor + controles kg		Batería kg		Potencia total de los motores kW	Motor + controles kg		Batería kg	
Columna	1 En seco	2 Sumergido	3 En seco	4 Sumergido	Columna	1 En seco	2 Sumergido	3 En seco	4 Sumergido
0 a 1,9	13,0	11,2	—	—	28,0 a 35,9	126,0	108,4	40,8	22,7
2,0 a 3,6	23,0	19,8	—	—	36,0 a 57,9	164,0	141,0	40,8	22,7
3,7 a 5,8	32,0	27,5	—	—	58,0 a 87,9	242,0	208,1	40,8	22,7
5,9 a 6,9	42,0	36,1	—	—	88,0 a 109,9	314,0	270,0	40,8	22,7
7,0 a 13,9	54,0	46,4	20,4	11,3	110,0 a 167,9	374,0	321,6	40,8	22,7
14,0 a 17,9	63,0	54,2	20,4	11,3	168,0 a 372,0	470,0	404,2	40,8	22,7
18,0 a 28,9	82,0	70,5	20,4	11,3	372,0 y superior	514,0	442,0	40,8	22,7
29,0 a 43,9	121,0	104,1	20,4	11,3					
44,0 a 54,9	157,0	135,0	20,4	11,3					
55,0 a 83,9	187,0	160,8	20,4	11,3					
84,0 a 186,0	235,0	202,1	20,4	11,3					
186 y superior	257,0	221,0	20,4	11,3					

NOTA – Potencia en kW = caballos de potencia imperiales x 0,745 7.
 Caballos de potencia imperiales = Potencia en kilowatios x 1,341.
 Potencia en kilowatios = Caballos de potencia métricos x 0,735 5.
 Caballos de potencia métricos = Potencia en kilowatios x 1,360.

Tabla B.3
Número de tanques de aire que deben abrirse

Número total de tanques de aire	Número de los que deben abrirse
≤ 4	El mayor
> 4 a ≤ 8	Los dos mayores
> 8	Los tres mayores

B.3 Ensayo de estabilidad en el agua

B.3.1 Se debe suspender sobre cada costado de la embarcación, en cuatro posiciones sucesivas, un peso metálico de ensayo de una carga seca de 6d CL kg, pero no menor de 15d kg. Estas

posiciones deben estar a $L_H/3$ de los extremos de la embarcación (como se muestra en la figura B.1), o al final de la cabina de mando, si ésta se encuentra más próxima a la mitad de la eslora de la embarcación. No se debe situar en la embarcación ningún otro peso de ensayo durante este ensayo aparte de los requeridos en el capítulo B.2.

B.3.2 d es un coeficiente para tener en cuenta la flotabilidad del peso de ensayo, y que figura en la tabla B.4. Cuando los pesos de ensayo no sean todos del mismo material, el cálculo debería ser similar a:

$$\frac{m_L}{1,099} + \frac{m_{Cl}}{1,163} + \frac{m_A}{1,612} = 6 \text{ CL}$$

Donde:

m_L es el peso de los pesos de plomo, expresado en kilogramos;

m_{Cl} es el peso de los pesos de hierro fundido, expresado en kilogramos;

m_A es el peso de los pesos de aluminio, expresado en kilogramos.

B.3.3 Como alternativa a la suspensión de pesos de ensayo sobre los costados, se puede aplicar un momento de escora equivalente (calculado con la embarcación adrizada) utilizando pesos o personas colocados dentro de la embarcación al nivel de los asientos. Las personas se pueden utilizar solamente si no se sumergen cuando la embarcación está escorada.

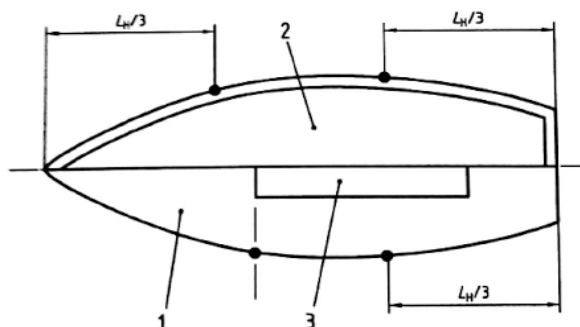
B.3.4 Con el peso de ensayo en cada posición sucesiva, se sumerge la embarcación aplicando una fuerza hacia abajo en una posición de la regala a aproximadamente la mitad de L_H hasta que el punto más bajo de la regala o de la brazola esté entre 0,1 m y 0,3 m por debajo de la superficie del agua. Se mantiene la embarcación en esta posición hasta que se haya igualado el nivel de agua o durante 5 min, si este tiempo es inferior, y se libera entonces la embarcación.

B.3.5 Para cada posición de los pesos de ensayo, y una vez que hayan transcurrido otros 5 min, la embarcación no debe tener una escora de más de 45°.

Tabla B.4
Coeficiente del material

Material	Plomo	Latón 65/35	Acero	Hierro fundido	Aluminio
Valor de d	1,099	1,138	1,151	1,163	1,612

Fig. B.1 - Posicionamiento de los pesos de ensayo



Leyenda

1. Cubierta
2. Embarcación abierta
3. Cabina de mando

B.4 Ensayo de flotabilidad en el agua

B.4.1 Generalidades

Las embarcaciones de $L_H < 4,8$ m deben satisfacer los dos ensayos que se describen en los apartados B.4.2 y B.4.3. Las embarcaciones de $L_H > 4,8$ m deben satisfacer el ensayo que se describe en el apartado B.4.3.

B.4.2 Ensayo de una persona N.A.

B.4.3 Ensayo de carga

B.4.3.1 Se colocan los pesos metálicos de ensayo en el interior del fondo de la embarcación, repartidos alrededor del centro del área utilizable por la tripulación, de acuerdo con la tripulación límite (CL) que figuran en la tabla B.5. Esta área debe tener una altura libre mínima de 0,6 m sobre la línea de agua de inundación. Alternativamente, y siempre que no se sumerjan por encima de las rodillas, se pueden utilizar personas en lugar de pesos de ensayo, si el peso seco total de las mismas no es inferior al peso requerido de los pesos de ensayo si d se toma como 1,1.

Tabla B.5
Peso de los pesos del ensayo de carga

	Peso en kilogramos	
	Categoría de diseño C	Categoría de diseño D
Peso seco superior a	$d(60 + 15 CL)$	$d(50 + 10 CL)$

B.4.3.2 Se hunde la embarcación aplicando una fuerza hacia abajo en una posición de la regala a aproximadamente la mitad de L_H hasta que el punto más bajo de la regala o de la brazola esté entre 0,1 m y 0,3 m por debajo de la superficie del agua. Se mantiene la embarcación en esta posición hasta que se haya igualado el nivel de agua o durante 5 min, si este tiempo es inferior, y se libera entonces la embarcación.

B.4.3.3. Las embarcaciones que requieran satisfacer el nivel estándar de flotación deben, después de que hayan pasado otros 5 min, poder flotar a un nivel aproximado que mantenga más de los dos tercios de la eslora de la parte superior de la regala o brazolas (incluyendo las que atraviesan la proa l la popa) por encima del agua.

B.4.3.4 Las embarcaciones que requieran satisfacer el nivel básico de flotación deben, después de que hayan pasado otros 5 min, continuar a flote, pero pueden flotar en cualquier condición.

Tabla B.6
Peso de los pesos de ensayo

		Peso en kilogramos									
Tripulación límite (CL)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6d CL, min 15d	=	15d	15d	18d	24d	30d	36d	42d	48d	54d	60d
d(60 + 15 CL)	=	75d	90d	105d	120d	135d	150d	165d	180d	195d	210d
d(50 + 10 CL)	=	60d	70d	80d	90d	100d	110d	120d	130d	140d	150d

EN ISO 14946:2001. Embarcación de recreo. Capacidad de carga máxima.

3 Términos y definiciones

3.1 Masa de la embarcación en rosca: m_{LCC} , véase norma ISO 8666.

3.2 Asiento: Cualquier superficie, horizontal o casi horizontal, en la que puede sentarse una persona, con medidas mínimas de 400 mm de ancho por 750 mm de longitud (es decir, profundidad del asiento más espacio libre para los pies delante del asiento). Nota: se recomienda anchura de 500 mm.

3.3 Superficie de asiento: Espacio exclusivo libre en una embarcación abierta o en una bañera con tal de que esté disponible un área de 750 mm X 500 mm para cada persona a que debe dar cabida.

4 Número máximo de personas

El número máximo de personas recomendado por el fabricante cuando la embarcación está navegando no debe sobrepasar:

- a) el número de personas para el cual la embarcación ha pasado satisfactoriamente los requisitos de francobordo, estabilidad y flotación, de acuerdo con las Normas ISO 12217-1, ISO 12217-2 e ISO 12217-3;
- b) el número de personas para las cuales se asignan espacio de asiento por el fabricante con medidas tal como se defina en 3.2 y 3.3.

5 Carga máxima

El término “carga máxima” hay que entenderlo como “carga máxima recomendada por el fabricante”. Éste no debe exceder la carga máxima total que puede añadirse a la masa de la embarcación en rosca de acuerdo con la Norma ISO 8666 sin exceder los requisitos de estabilidad, francobordo, flotación en conformidad con las Normas ISO 12217-1, ISO 12217-2 e ISO 12217-3, y los requisitos relativos al espacio de asiento y debe tener en cuenta la categoría

de diseño de la embarcación. Como mínimo, debe tener en cuenta la masa de los elementos siguientes:

1. el número de personas a 75 Kg de peso, de acuerdo con el capítulo 4. Cuando se transporten niños como parte de la tripulación, el número máximo de personas puede sobrepasarse con tal de que la masa de cada niño no supere un límite de 37,5 Kg y no se exceda la masa total de personas;
2. equipo básico de $(L_H - 2,5)^2$, pero no menos de 10 Kg;
3. pertrechos y carga (si hubiere), provisiones secas, líquidos consumibles (no cubiertos por los puntos d) y e)) y equipo diverso no incluido en la masa de la embarcación en rosca o en el punto b);
4. líquidos consumibles (agua dulce, combustible) en tanques portátiles llenados hasta el máximo de su capacidad;
5. líquidos consumibles (agua dulce, combustible) en tanques permanentes llenados hasta el máximo de su capacidad;
6. una balsa salvavidas o bote, cuando se prevea que se lleve.

ISO 12215-5:2008. Embarcación pequeña. Construcción de cascos y escantillones. Parte 5: Presiones de diseño, tensiones de diseño y determinación del escantillón.

3. Términos y definiciones

3.2 Peso del desplazamiento en carga, m_{LDC} : Peso de la embarcación en la condición en rosca añadiendo la carga máxima total (Kg).

3.4 Momento de inercia: Para un material homogéneo, es la suma de las componentes de área multiplicada por la distancia que comprende desde el centro de área de cada componente de área hasta el eje neutral, al cuadrado. Más el momento de inercia de cada componente de área alrededor de su propio centroide, expresado en cm^4 o mm^4 .

3.5 Momento resistente, SM: Para un material homogéneo, es el momento de inercia dividido por la distancia comprendida desde cualquier punto hasta el eje neutral, en el que se quiera calcular el esfuerzo. Se expresa en cm^3 o mm^3 .

3.6 Embarcación de desplazamiento: Embarcación cuya velocidad máxima en aguas tranquilas y en condición de m_{LDC} , de acuerdo con el fabricante, es tal que:

$$\frac{v}{\sqrt{LWL}} < 5$$

3.7 Modo en desplazamiento: Modo de avance de una embarcación en el mar de tal manera que esta sostenida principalmente por las fuerzas hidrostáticas.

3.8 Embarcación de planeo: Embarcación cuya máxima velocidad en aguas tranquilas y en condición de m_{LDC} , de acuerdo con el fabricante, debe ser tal que:

$$\frac{v}{\sqrt{LWL}} \geq 5$$

3.9 Modo en planeo: Modo de avance de una embarcación en el mar de tal manera que la fuerza hidrodinámica se parte significativa de la sustentación debida a la velocidad en el agua.

5. General

La determinación del escantillonado se determinará según:

- Para embarcaciones de eslora L_H de 2,5 a 24 m, de acuerdo con la Cláusula 6 a 11
- Para embarcaciones de eslora de 2,5 m a 6 m de forro simple el ensayo del Anexo B puede ser utilizada como alternativa al cuerpo principal de esta parte de la Normativa ISO 12215

6 Dimensiones, datos y áreas

6.2 Áreas

6.2.1 General

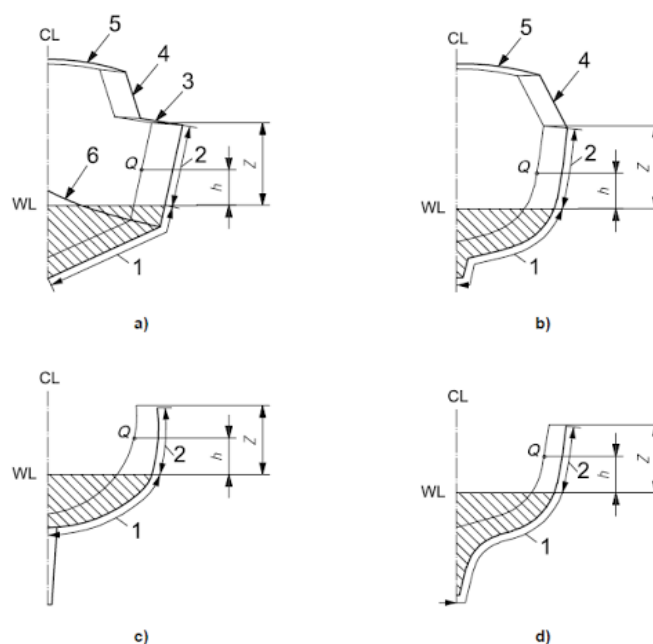
El casco, la cubierta y la superestructura está dividida en varias áreas: fondo, lateral, cubiertas y superestructuras (véase figura 2).

6.2.2 Áreas del fondo

Para todas las embarcaciones, las presiones de fondo se aplican hasta la línea de flotación (véase figura 2).

La parte del espejo de popa de acuerdo con la definición anterior se considera fondo.

Fig.2 – Definición de áreas, y altura de planchas por encima de LWL



Leyenda

1. Fondo (área rayada)
2. Costado
3. Cubierta
4. Superestructuras
5. Superestructura superior
6. Pantoque

6.2.3 Áreas laterales

El alcance de la presión en las áreas laterales, incluyendo el espejo de popa, es la parte del casco no considerada como áreas de fondo.

6.2.4 Cubierta y superestructuras

Las áreas de cubierta son partes de la cubierta expuestas a las condiciones climáticas y por donde las personas pueden caminar seguras. Se incluye fondo de la bañera, parte superior de bancos y áreas de asiento.

Las áreas de superestructura incluyen todas las que se encuentren encima del nivel de cubierta. En la tabla 4 se listan los diferentes tipos de superestructuras.

6.2.5 Panel totalmente en un área o entre dos áreas.

- 1) Si el panel de la placa o refuerzo se encuentra totalmente dentro de un área especificada, por ejemplo, fondo, lateral, cubierta, superestructura, etc., su presión de diseño debería determinarse a la mitad del panel o a la mitad de la longitud del refuerzo,
- 2) Si el panel de la placa o refuerzo se extiende tanto en el área de fondo como el lateral, su presión de diseño debería determinarse una presión constante en toda el área de diseño, calculado como el peso la media ponderada de las dos presiones.

ej.: para un panel donde el 30% está en el fondo y el 70% en el área de costado, la presión media es $0,3P_b + 0,7P_s$, donde P_s se obtiene en el punto medio de esa parte del panel encima de la línea de flotación.

7 Factores de ajuste de presión

7.1 General

El diseño de presión final se ajusta mediante una serie de factores de acuerdo al diseño, tipo de barco, localización, etc.

7.2 Diseño del factor de categoría k_{DC}

El diseño del factor de categoría, definido en la Tabla 2, tiene en cuenta las variaciones de las cargas de presión debido a la mar de acuerdo con la categoría de diseño.

Table 2 — Values of k_{DC} according to design category

Design category	A	B	C	D
Value of k_{DC}	1	0,8	0,6	0,4

7.3 Factor de carga dinámico n_{CG}

7.3.1 General

El factor de carga dinámico n_{CG} se considera cerca de la aceleración de la amplitud única medida en el centro de gravedad de la embarcación a una frecuencia relevante para un periodo de tiempo determinado. Éste factor es la aceleración negativa que soporta la embarcación, en pantocazo o cayendo desde la cresta de una ola hasta su valle. n_{CG} se expresa en gs, donde 1g es la aceleración por gravedad ($9,81 \text{ m/s}^2$).

7.3.2 Factor de carga dinámica n_{CG} para embarcación a motor en modo planeo

El factor de carga dinámico para embarcaciones de planeo en modo planeo deben ser determinadas por la fórmula 1 o la fórmula 2.

$$n_{CG} = 0,32 \left(\frac{L_{WL}}{10 \times B_C} + 0,084 \right) \times (50 - \beta_{0,4}) \times \frac{V^2 \times B_C^2}{m_{LDC}} \quad (1)$$

Para valores de la fórmula 1 de $n_{CG} \leq 3,0$, el valor de la fórmula 1 será utilizada.

Para valores de la fórmula 1 de $n_{CG} > 3,0$, este valor o el valor de la fórmula 2 será utilizada

$$n_{CG} = \frac{0,5 \times V}{m_{LDC}^{0,17}} \quad (2)$$

En ningún caso $n_{CG} > 7$.

7.3.3 Factor de carga dinámico n_{CG} para veleros y embarcaciones a motor de desplazamiento.

Para una embarcación a motor donde n_{CG} , es determinado por la fórmula 1 es $< 3,0$, será utilizado un valor de 3,0 para el cálculo de K_L .

7.4 Factor de distribución longitudinal K_L .

El factor de distribución longitudinal K_L tiene en consideración la variación de las cargas de presión debido a la localización en la embarcación. Será obtenido de la figura 3 o calculado de la fórmula 3.

K_L es función del factor de carga dinámica definido a continuación para embarcación de motor.

$$k_L = \frac{1 - 0,167 \times n_{CG}}{0,6} \frac{x}{L_{WL}} + 0,167 \times n_{CG} \text{ but not taken } > 1 \text{ for } \frac{x}{L_{WL}} \leq 0,6 \quad (3)$$

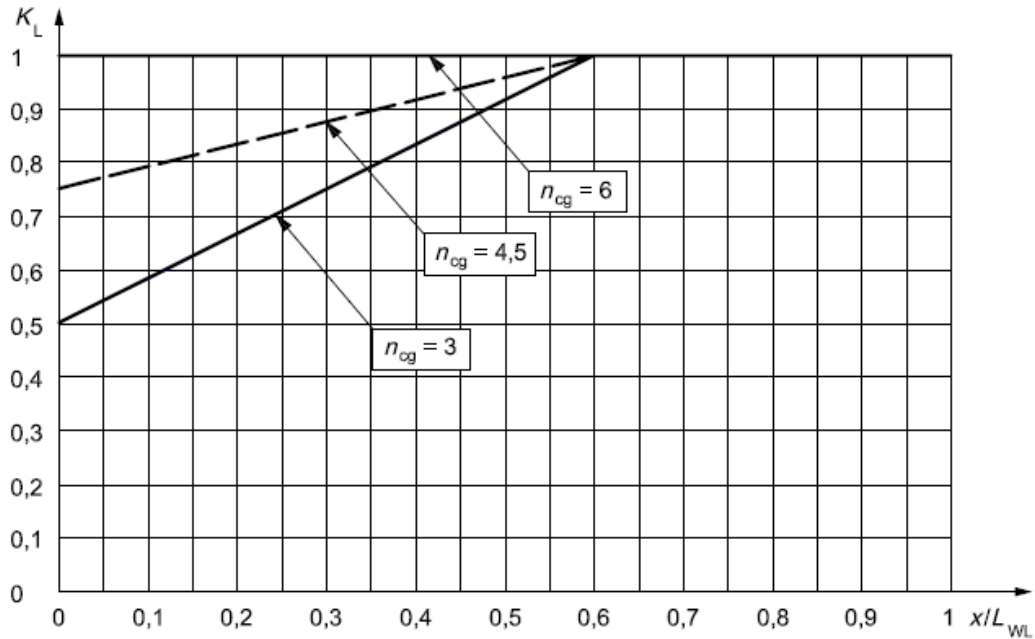
$$k_L = 1 \text{ for } \frac{x}{L_{WL}} > 0,6$$

Donde

- n_{CG} se determina de acuerdo con 7.3, pero para los propósitos de la determinación de K_L , n_{CG} , no será tomada < 3 ni > 6 .
- x/L_{WL} es la posición del centro del panel o la mitad del refuerzo analizado proporcional al L_{WL} , donde $x/L_{WL} = 0$ y 1 son respectivamente el final de popa y el final de proa del L_{WL} .

Donde X es la posición longitudinal del centro del panel o el punto medio del refuerzo a proa o popa del L_{WL} en condición de m_{LDC} (m).

Los sobresalientes de proa y popa tendrán el mismo valor de k_L a su respectivo final de la línea de flotación.



NOTE In the graph the only represented intermediate value of n_{CG} between 3 and 6 is 4,5; for other intermediate values, k_L shall be determined either by calculation according to Equation (3) or by interpolation in the graph.

Figure 3 — Longitudinal pressure distribution factor k_L

7.5 Factor de reducción de la presión de área k_{AR}

7.5.1 General

El factor de reducción de la presión de área k_{AR} tiene en cuenta la variación en las cargas de presión debido al tamaño de un panel o refuerzo.

$$k_{AR} = \frac{k_R \times 0,1 \times m_{LDC}^{0,15}}{A_D^{0,3}} \quad (4)$$

Donde

- k_R es la componente estructural y el factor de tipo de barco

$k_R = 1,0$ para paneles o refuerzos de embarcaciones de motor de planeo en régimen de planeo situados en el fondo, lateral y cubierta;

$k_R = 1,5 \cdot 3 \times 10^{-4} \times b$ para paneles de veleros, embarcaciones a motor de desplazamiento y embarcaciones a motor de planeo en régimen de desplazamiento situados en el fondo, lateral y cubierta;

$k_R = 1 \cdot 2 \times 10^{-4} \times l_U$ para refuerzos de veleros, embarcaciones a motor de desplazamiento y embarcaciones a motor de planeo en régimen de desplazamiento situados en el fondo, lateral y cubierta.

- m_{LDC} es el peso del desplazamiento en carga definido en 3.2 en Kg;
- A_D es el área de diseño en m²:
 $A_D = (l \cdot b) \times 10^{-6}$ para placas, pero no tomará valores $> 2,5 \times b^2 \times 10^{-6}$;

$A_D = (l_U \cdot s) 10^{-6}$ para refuerzos pero no tomará valores $< 0,33 l_U^2 \cdot 10^{-6}$;

- b es la dimensión más corta del panel, definido en 9.1.1 en mm
- l es la dimensión más larga del panel, definido en 9.1.2 en mm
- s es el espaciado entre refuerzos, definido en 9.2.1 en mm
- l_U es el tramo no apoyado de un refuerzo, definido en 9.2.2 en mm

7.5.2 Máximo valor de k_{AR}

k_{AR} no será > 1

7.5.3 Mínimo valor de k_{AR}

k_{AR} no será menor a los valores descritos en la tabla 3

Table 3 — Minimum values of k_{AR}

Design category	Side and bottom single-skin panels and stiffeners Deck and superstructures sandwich and single-skin panels and stiffeners	Side and bottom sandwich panels ^a		
		$\frac{x}{L_{WL}} \leq 0,4$	$0,4 < \frac{x}{L_{WL}} < 0,6$	$\frac{x}{L_{WL}} \geq 0,6$
A	0,25 any craft hull and deck	0,4 any craft	Interpolation between values at $\frac{x}{L_{WL}} = 0,4$ and $0,6$	0,5 sail bottom and topside 0,5 motor bottom 0,4 motor topside
B	0,25 any craft hull and deck	0,4 any craft		0,4 any craft
C & D	0,25 any craft hull and deck	0,4 any craft		

^a Minimum k_{AR} applies to bending or shear strength and deflection requirement.

7.6 Factor de reducción de la presión de costado k_Z

El factor de reducción de presión de costado k_Z interpola la presión del casco entre la presión en la línea de flotación (en el fondo) y la presión de la cubierta en el borde superior (véase la figura 2).

$$k_Z = \frac{Z - h}{Z} \quad (5)$$

Donde

- Z es la altura de la parte superior del casco o el límite del casco/cubierta encima de la línea de flotación a plena carga, en metros.
- h es la altura del centro del panel o la mitad del refuerzo encima de la línea de flotación a plena carga, en metros.

La altura de la parte superior del casco o el límite casco/cubierta es el que está en el longitudinal considerado.

7.7 Factores de reducción de presión en superestructura y caseta de cubierta k_{SUP}

El factor de reducción de presión en superestructura y caseta de cubierta k_{SUP} se define según la ubicación y el tipo de barco según la tabla 4.

Table 4 — Values of k_{SUP} for superstructures and deckhouses

Position of panel	k_{SUP} motor and sail	Application
Front	1	Any area
Side	0,67	Walking area
Side	0,5	Non-walking area
Aft end	0,5	Any area
Top, ≤ 800 mm above deck	0,5	Walking area
Top, > 800 mm above deck and upper tiers	0,35	Walking area
Upper tiers ^a	Minimum deck pressure 5 kN/m ³	Non-walking area
^a Elements not exposed to weather shall be considered as upper tiers.		

7.8 NA

8 Presiones de diseño

8.1 Presión de diseño embarcaciones motoras

8.1.1 General

La presión de fondo de las motoras será mayor que (véase NOTA 1)

- la presión de fondo en modo desplazamiento P_{BMD} definido en 8.1.2 o
- la presión de fondo en modo planeo P_{BMP} definido en 8.1.3.

Para embarcaciones motoras con categoría de diseño C y D, la presión de costado será la correspondiente en modo planeo o desplazamiento: el “modo” que se considerará, será el que tenga la presión de fondo mayor (véase NOTA 4).

NOTA 1: La razón de este doble requerimiento es porque en aguas embravecidas las embarcaciones que normalmente planean en aguas tranquilas deben progresar a bajas velocidades de la misma manera que una embarcación de desplazamiento.

NOTA 2: Embarcaciones entrado en el modo planeo $\frac{v}{\sqrt{LWL}} \geq 5$, normalmente experimentarán valores de P_{BMP} mayores que el P_{BMD} .

NOTA 3: NA

NOTA 4: En la categoría de diseño D, hay un pequeño riesgo en tener que reducir la velocidad debido a mares embravecidos, este riesgo está limitado en la categoría C.

8.1.2 Presión de fondo de embarcaciones a motor en modo desplazamiento P_{BMD}

La presión de diseño de fondo para embarcaciones a motor en modo desplazamiento P_{BMD} es el mayor de

$$P_{BMD} = P_{BMD\text{ BASE}} \times k_{AR} \times k_{DC} \times k_L \text{ kN/m}^2 \text{ or} \quad (7)$$

$$P_{BMIN} = 0,45 m_{LDC}^{0,33} + (0,9 \times L_{WL} \times k_{DC}) \text{ kN/m}^2 \quad (8)$$

$$\text{where } P_{BMD\text{ BASE}} = 2,4 m_{LDC}^{0,33} + 20 \text{ kN/m}^2 \quad (9)$$

8.1.3 Presión de fondo en embarcaciones a motor en modo planeo P_{BMP}

La presión de diseño de fondo en embarcaciones de motor en planeo P_{BMP} es el mayor de

$$P_{BMP} = P_{BMP\text{ BASE}} \times k_{AR} \times k_L \text{ kN/m}^2 \text{ or} \quad (10)$$

$$P_{BMP\text{ MIN}} = 0,45 m_{LDC}^{0,33} + (0,9 \times L_{WL} \times k_{DC}) \text{ kN/m}^2 \text{ [same as Equation (8)]}$$

where $P_{BMP\text{ BASE}} = \frac{0,1 m_{LDC}}{L_{WL} \times B_C} \times (1 + k_{DC}^{0,5} \times n_{CG})$ is the base bottom pressure for motorcraft, in planing mode, in kilonewtons per square metre (11)

NOTA: el índice 0,5 en k_{DC} está para reflejar que aunque cierto efecto en la categoría de diseño está presente, dicho efecto se ve atenuado por el modo planeo. La razón es porque los picos de presión en planeo se experimentan principalmente por las condiciones de categoría C, por lo tanto las diferencias entre las categorías de diseño están menos marcadas que en modo desplazamiento.

8.1.4 Presión de costado en embarcaciones a motor en desplazamiento P_{SMD}

La presión de diseño de costado para embarcaciones a motor en desplazamiento P_{SMD} es el mayor de

$$P_{SMD} = \left[P_{DM\text{ BASE}} + k_Z \times (P_{BMD\text{ BASE}} - P_{DM\text{ BASE}}) \right] \times k_{AR} \times k_{DC} \times k_L \text{ kN/m}^2 \text{ or} \quad (12)$$

$$P_{SMD\text{ MIN}} = 0,9 L_{WL} \times k_{DC} \text{ kN/m}^2 \quad (13)$$

Para embarcaciones con cubierta, las partes de costado encima del límite cubierta/casco (ej.: borda) será evaluado usando $P_{SM\text{ MIN}}$

8.1.5 Presión de costado en embarcaciones a motor en planeo P_{SMP}

Para áreas de costado ubicadas en o encima de la línea de flotación, la presión de diseño de costado P_{SMP} para embarcaciones de motor en planeo será el mayor de

$$P_{SMP} = \left[P_{DM\text{ BASE}} + k_Z \times (0,25 \times P_{BMP\text{ BASE}} - P_{DM\text{ BASE}}) \right] \times k_{AR} \times k_{DC} \times k_L \text{ kN/m}^2 \text{ or} \quad (14)$$

$$P_{SMD\text{ MIN}} = 0,9 L_{WL} \times k_{DC} \text{ kN/m}^2 \text{ [same as Equation (13)]}$$

Para barcos con cubierta, las partes de costado encima del límite Casco/cubierta (ej.: borda) será evaluado usando $P_{SM\text{ MIN}}$.

8.1.6 Presión de cubierta en embarcaciones a motor P_{DM}

La presión de diseño P_{DM} para la cubierta principal de embarcaciones a motor será la mayor de

$$P_{DM} = P_{DM\text{ BASE}} \times k_{AR} \times k_{DC} \times k_L \text{ kN/m}^2 \text{ or} \quad (15)$$

$$P_{DM\text{ MIN}} = 5 \text{ kN/m}^2 \quad (16)$$

where $P_{DM\text{ BASE}} = 0,35 L_{WL} + 14,6 \text{ kN/m}^2 \quad (17)$

8.1.7 Presión en embarcaciones a motor para superestructuras y caseta de cubierta $P_{SUP\text{ M}}$

La presión de diseño $P_{SUP M}$ para superestructuras y casetas de cubierta expuestas al clima para embarcaciones a motor es proporcional a la presión de cubierta, pero no será menor que $P_{DM MIN}$ en áreas de tránsito (donde caminan).

$$P_{SUP M} = P_{DM BASE} \times k_{DC} \times k_{AR} \times k_{SUP} \text{ kN/m}^2 \quad (18)$$

8.2 Presión de diseño para veleros: NA

8.3 Presión de diseño de mamparos estancos y tanques integrados al casco

8.3.1 Presión de mamparos estancos, P_{WP}

La presión de diseño P_{WP} en mamparos estancos, cuando esté instalado, es

$$P_{WB} = 7 h_B \text{ kN/m}^2 \quad (28)$$

Donde

h_B es la altura del agua, en metros, medido de la siguiente manera (véase figura 4):

- para planchas, es la distancia desde un punto $\frac{2}{3}$ de la altura por debajo de la parte superior del mamparo;
- para refuerzos verticales, es la distancia desde un punto $\frac{2}{3}$ de la altura del refuerzo por debajo de la parte superior del mamparo;
- para refuerzos horizontales, es la altura medida desde el refuerzo hasta la parte superior del mamparo.

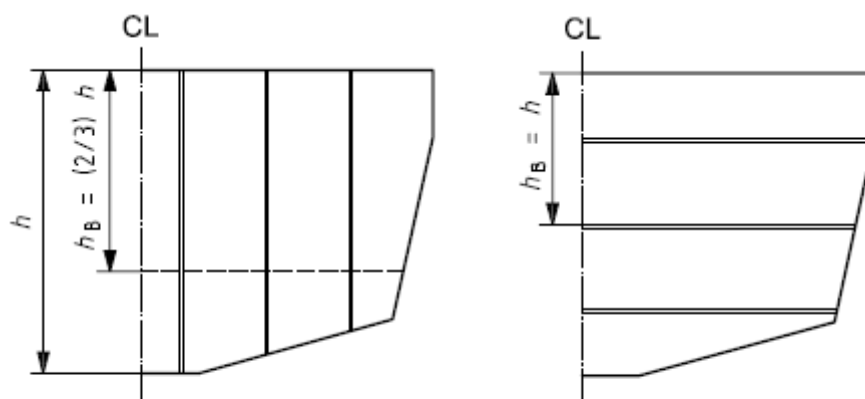


Figure 4 — Watertight bulkheads

8.3.2 Mamparos y contorno de tanques estructurales

La presión de diseño P_{TB} para mamparos y contorno de tanques estructurales es:

$$P_{TB} = 10 h_B \text{ kN/m}^2 \quad (29)$$

Donde:

h_B es la altura del agua, en metros, medido de la siguiente manera (véase figura 5)

- para planchas: NA

- Para refuerzos verticales: la distancia desde $2/3$ de la altura del refuerzo bajo la parte superior del tanque o la parte superior del cuello de cisne, el que sea mayor.
- Para refuerzos horizontales: NA

Donde haya planchas con un escantillado o espesor diferente, h_B para cada plancha debe tomarse desde el punto más bajo del panel

Para la determinación de la presión de diseño, la parte superior del cuello de cisne no debe tomarse < 2 m de la parte superior del tanque.

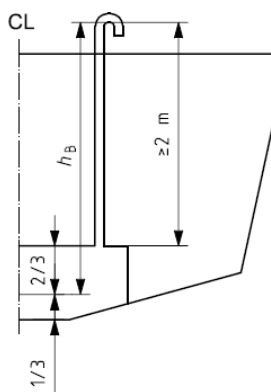


Figure 5 — Measurement of dimensions for integral tank scantling calculation

8.3.3 Placas “anti-superficies libres”: NA

8.3.4 Mamparo de colisión

El escantillado de los mamparos de colisión, no será menor al requerido para los mamparos de tanques estructurales.

8.3.5 Mamparos parciales o no estancos

Para mamparos estructurales pero no estancos, el escantillado será el especificado en 11.8. Los mamparos no estructurales están fuera del alcance del presente reglamento.

8.3.6 Transmisión de pilares de carga

Mamparos que actúan como pilares de la misma forma que las vigas bajo la cubierta, sujetas a cargas concentradas y otras estructuras que soportan cargas pesadas serán dimensionadas conforme a dichas cargas.

8.4 Presión de diseño para componentes estructurales con $k_{AR} \leq 0,25$

Las presiones de diseño en 8.1 y 8.2 pretenden representar la carga dinámica que experimenta la embarcación. El efecto de la carga dinámica se reduce cuando aumenta la componente estructural. Para componentes estructurales muy grandes, la presión de diseño debería basarse en la presión hidrostática, puesto que es esta carga la que se puede considerar como la que se distribuye por toda el área de la componente.

“Muy grande” componente son las consideradas como paneles o refuerzos por el que el producto del lado más largo con el corto (paneles) o el grosor con el espaciamiento (en refuerzos) excede las siguientes áreas:

- para estructuras de fondo, 30% del producto entre LWL x BWL;

- para estructuras de costado, 30 % del producto entre LWL x D, donde D es el puntal;
- para estructura de cubierta, 30% del producto entre LWL x BWL.

En tales casos, con independencia de la presión de carga obtenida en 8.1 y 8.2, la presión de diseño no debe ser mayor que:

— for bottom structure, $0,45 m_{LDC}^{0,33}$, but not $< 5 \text{ kN/m}^2$; (30)

— for side structure, $0,3 m_{LDC}^{0,33}$, but not $< 5 \text{ kN/m}^2$; (31)

— for deck structure, 5 kN/m^2 . (32)

9. Dimensiones de paneles y refuerzos

9.1 Dimensiones de paneles de placa

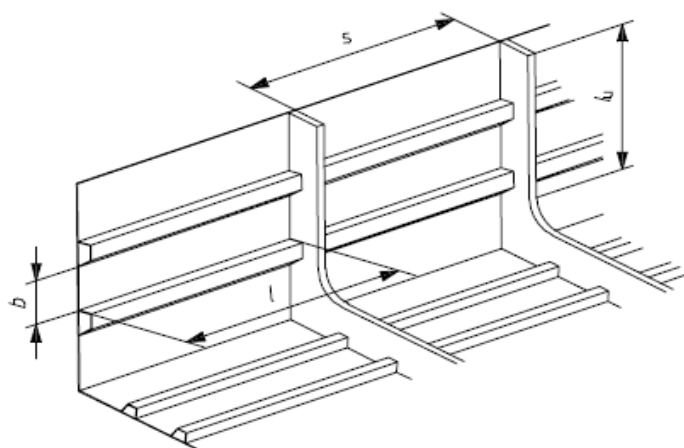


Figure 6 — Sketch explaining the dimensions in 9.1

9.2 Dimensiones de los refuerzos

10 Placas - ecuaciones de escantillonado

10.1 Factores de ajuste de grosor para placas

10.1.1 Factor de desviación (flecha) por flexión k_1 para placas sándwich

$$k_1 = 0,017$$

NOTA el factor de desviación por flexión k_1 se utiliza solo para FRP sándwich (véase 10.5.3).

10.1.2 Factor de relación de aspecto del panel para fuerzas k_2 y para esfuerzos k_3

Los factores de relación de aspecto del panel para fuerzas k_2 y esfuerzos k_3 se establecen en la tabla 5.

NOTA: k_3 es utilizado solo para determinar I o EI en cálculo de sándwich.

Table 5 — Values of k_2 and k_3 in function of aspect ratio l/b for isotropic panels

Panel aspect ratio l/b	Factor k_2 k_2 to be taken = 0,5 for laminated wood plating	Factor k_3
> 2,0	0,500	0,028
2,0	0,497	0,028
1,9	0,493	0,027
1,8	0,487	0,027
1,7	0,479	0,026
1,6	0,468	0,025
1,5	0,454	0,024
1,4	0,436	0,023
1,3	0,412	0,021
1,2	0,383	0,019
1,1	0,349	0,016
1,0	0,308	0,014
	k_2 can be evaluated by the formula below, keeping $0,308 < k_2 < 0,5$	k_3 can be evaluated by the formula below, keeping $0,014 < k_3 < 0,028$
	$k_2 = \frac{0,271(l/b)^2 + 0,910(l/b) - 0,554}{(l/b)^2 - 0,313(l/b) + 1,351}$	$k_3 = \frac{0,027(l/b)^2 - 0,029(l/b) + 0,011}{(l/b)^2 - 1,463(l/b) + 1,108}$

10.1.3 Factor de corrección de curvatura k_C para placas curvas.

El factor de corrección de curvatura k_C , dado por la tabla 6, donde C es la distancia del panel definido en la figura 12. k_C no será tomado $<0,5$ o > 1 .

Table 6 — Curvature correction factor k_C

c/b	k_C
0 to 0,03	1,0
0,03 to 0,18	$1,1 - \frac{3,33c}{b}$
> 0,18	0,5

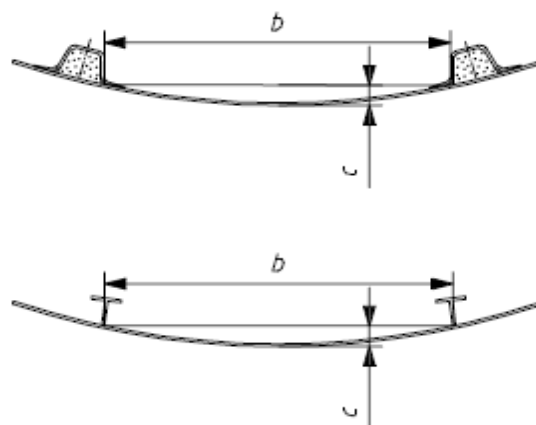


Figure 12 — Measurement of convex curvature

10.1.4 Presión de diseño final y análisis de panel

Las presiones de diseño de fondo, cubierta y superestructura, es constante y serán aplicadas como se define en la cláusula 8.

La presión varía a lo largo del francobordo, tal como se especifica en 8.1.5, para motoras monocasco.

En el caso de paneles grandes con presión variable (porque es un panel de costado grande o porque abarca tanto el costado como el fondo), la presión de diseño se tomará como la presión media constante correspondiente a la presión a la mitad del panel (véase también 6.2.4).

En el caso de paneles con escantillonado variable (de panel simple o sandwich de espesor variable, panel simple que transiciona a sándwich en algún punto del panel, etc.), todos los escantillonados serán evaluados, el más débil siendo usado para el cumplimiento del panel con esta parte de la ISO 12215.

NOTE At the time of publication, this part of ISO 12215 has no provision to consider specifically variable pressure or variable scantlings. This is a statically indeterminate case, and the fixity at the ends of the panels may have any value from 0,2 to 1 according to the structural arrangements.

10.1.5 Fuerzas tangenciales y momentos flectores en paneles

Las fuerzas tangenciales y los momentos flectores, generalmente no se necesitan conocer puesto que se tienen en cuenta durante el cálculo de espesores. Sin embargo, a veces necesitan calcularse, sobretodo en casos de materiales no homogéneos o no isotrópicos (véase Anexo H). Sus ecuaciones son:

$$F_d = \sqrt{k_C} \times k_{SHC} \times P \times b \times 10^{-3} \text{ is the shear force in the middle of the } b \text{ dimension in N/mm} \quad (33)$$

$$M_d = 83,33 \times k_C^2 \times 2k_2 \times P \times b^2 \times 10^{-6} \text{ is the bending moment in the } b \text{ direction in Nmm/mm} \quad (34)$$

Donde todas las dimensiones se han definido previamente excepto k_{SHC} donde se define en la tabla 12.

Donde el esfuerzo de los paneles no sea similar para las dos direcciones principales del panel, la ecuación 34 será reemplazada por la ecuación H.4 y H.5 (véase anexo H).

10.2 Plancha de piel simple de FRP

10.2.1 Diseño del esfuerzo para planchas de piel simple de FRP.

Table 7 — Design stresses for FRP single-skin plating

Material	Structural element	Design stress σ_d N/mm ²
FRP single skin	All elements	0,5 σ_{uf}

Donde σ_{uf} es el esfuerzo flector de rotura, en N/mm².

Las propiedades mecánicas del laminado de FRP se determinarán de acuerdo con el anexo C.

10.2.2 Espesor requerido para placas de FRP de piel simple

La siguiente ecuación, es solo válida si las propiedades mecánicas en ambas direcciones difieren < 25%; de lo contrario el panel debería ser evaluado conforme al anexo H, usando el esfuerzo tangencial y el momento flector dado por las ecuaciones 33 y 34.

El espesor mínimo requerido para placas de piel simple t es

$$t = b \times k_c \times \sqrt{\frac{P \times k_2}{1000 \times \sigma_d}} \text{ mm} \quad (35)$$

Donde

- b es la dimensión corta del panel, de acuerdo con 9.1.1, en mm;
- k_c es el factor corrección de curvatura para paneles curvos dado por la tabla 6;
- P es la presión de diseño (fondo, costado, cubierta, etc.) del panel de acuerdo con la cláusula 8, en kN/m²;
- k_2 es el factor de relación de aspecto del panel para fuerzas flectoras dada por la tabla 5;
- σ_d es el esfuerzo de diseño para placas de FRP dada en la tabla 7, en N/mm²

Para FRP, el espesor requerido de la ecuación 35, o cual sea el espesor que aparece en esta parte de la ISO 12215, no será medida, sino traducida en masa de refuerzo de fibra seca w_f (en Kg/m²) utilizando el contenido en masa de la fibra Ψ de acuerdo con los métodos del anexo C, y comparándolo con el refuerzo en masa actual. Un ejemplo es dado en el anexo. Del mismo modo, la masa de fibra seca, w_f , en el laminado de un barco existente o proyecto se deberá transformar en espesor de la misma manera con el objetivo de compararlo con los requerimientos de la ecuación 35.

Las propiedades mecánicas del laminado FRP son aquellas paralelas a b , donde $l/b \geq 2,0$ y la menor de las propiedades mecánicas paralelas a b o l , donde $l/b < 2,0$.

10.2.3 Uso de material “bulking”: NA

10.3 Placas de metal - aleaciones de aluminio y hierro: NA

10.4 Placas laminadas de madera o madera contrachapada de piel simple: NA

10.5 Placas sándwich de FRP

10.5.1 General

Esta sección se aplica a paneles sándwich donde la piel exterior e interior tienen una disposición similar, en fuerza y propiedades elásticas. Se considera la piel similar cuando la relación de sus propiedades mecánicas de ambas pieles está dentro del 25%.

En caso contrario, el sándwich será evaluado de acuerdo con el anexo H usando las ecuaciones 33 y 34 para las fuerzas tangenciales y momento flector, y la rigidez flectora requerida en la ecuación 42. En cualquier caso, los requerimientos del espesor desde la capacidad de carga tangencial de 10.5.4 serán seguidas.

10.5.2 Esfuerzo de diseño para placas sándwich

Table 10 — Design stresses for FRP sandwich plating

Material	Structural element	Design stress σ_{dt} or σ_{dc} N/mm ²
FRP sandwich	Hull, deck, superstructures, structural and watertight bulkheads and tanks	In outer skin $0,5\sigma_{ut}$ In inner skin $0,5\sigma_{uc}$ $0,3\sqrt{E_c \times E_{co} \times G_c}$ ^a
^a See 10.5.3 and Equation (41).		

Donde

Para sándwich de FRP

- σ_{ut} es la fuerza de tensión de rotura mínima de la piel, en N/mm²;
- σ_{uc} es la fuerza de compresión de rotura mínima de la piel, en N/mm².

Las propiedades mecánicas de la piel serán determinadas de acuerdo con el Anexo C.

10.5.3 Momento resistente mínimo y el momento de inercia

El momento resistente mínimo requerido entorno al eje neutral de una tira de panel sándwich no será menor que los valores dados por las ecuaciones 38 y 39.

El momento resistente mínimo requerido de la piel exterior de un sándwich de 1 cm de anchura:

$$SM_o/1 \text{ cm width} = \frac{b^2 \times k_C^2 \times P \times k_2}{6 \times 10^5 \times \sigma_{dto}} \text{ outer skin cm}^3/\text{cm} \quad (38)$$

El momento resistente mínimo requerido de la piel interior de un sándwich de 1 cm de anchura:

$$SM_i/1 \text{ cm width} = \frac{b^2 \times k_C^2 \times P \times k_2}{6 \times 10^5 \times \sigma_{dci}} \text{ inner skin cm}^3/\text{cm} \quad (39)$$

NOTA1 Estas ecuaciones derivan del hecho, que, para un panel fijo en los extremos, el momento flector máximo en los soportes predomina y la piel exterior está en tensión.

NOTA 2 con el objetivo de tener un valor manejable, es habitual especificar los requerimientos del sándwich en cm³/cm para el módulo resistente, SM y cm⁴/cm para el momento de inercia, I. Estos requerimientos pueden convertirse en mm³/mm y mm⁴/mm multiplicando los valores de SM y I dados en la sub-cláusula por 100 y 1000 respectivamente

NOTA 3 para el cálculo de fuerzas tangenciales y momentos flectores véase H2.1.2.

Momento de inercia mínimo requerido para una tira sándwich de 1 cm de anchura:

$$I/1 \text{ cm width} = \frac{b^3 \times k_C^3 \times P \times k_3}{12 \times 10^6 \times k_1 \times E_{io}} \text{ cm}^4/\text{cm} \quad (40)$$

Donde

- b es la dimensión más corta del panel, de acuerdo con 9.1.1, pero no será tomado $> 330L_H$ (véase 9.2.2), en mm

NOTA para un sándwich la dimensión b corresponde a la longitud del refuerzo.

- k_C es el factor de corrección de curvatura para un panel curvo dado en la tabla 6;
- P es la presión de diseño (fondo, costado, cubierta, etc.) del panel de acuerdo con la cláusula 8, en kN/m²;
- k_2 es el factor de relación de aspecto del panel para fuerzas flectoras dada por la tabla 5;
- k_3 es el factor de relación de aspecto del panel para esfuerzos flectores dada por la tabla 5;
- $k_1 = 0,017$ es el factor deflector (flecha) flector del sándwich;
- E_{io} es la media de módulo de la piel interior y exterior, en N/mm² (véase Anexo C); esta aproximación adecuada cuando las caras interior y exterior son similares, ej. no difieren $> 25\%$

Esfuerzo de tracción de diseño en la piel exterior:

σ_{dto} is the tensile design stress of the outer skin given in Table 10, i.e. $0,5 \sigma_{ut}$ in newtons per square millimetre

Esfuerzo de compresión de diseño en la piel interior

σ_{dci} is the compression design stress of the inner skin which is the lesser of

$0,5 \sigma_{uc}$ or

$$0,3 \sqrt[3]{E_c \times E_{co} \times G_c} \quad (41)$$

where

E_c is the compressive E modulus of inner skin in $0^\circ/90^\circ$ in-plane axis of panel (see Annex C), in newtons per square millimetre,

E_{co} is the compressive E modulus of core, perpendicular to skins (see Annex D), in newtons per square millimetre;

G_c is the core shear modulus in the direction parallel to load (see Annex D), in newtons per square millimetre.

Equation (40) may also be written as

$$EI \text{ per mm width} = \frac{b^3 \times k_C^3 \times P \times k_3}{12 \times 10^3 \times k_1} \text{ N}\cdot\text{mm}^2/\text{mm} \quad (42)$$

Esta aproximación es mejor cuando las caras exterior e interior son diferentes, ej. Carbón en la interior y carbón/aramídica en la exterior.

Véase Anexo D para el cálculo de SM y I del sándwich

Véase Anexo H para un análisis capa-a-capla mayor o evaluación del momento flector.

10.5.4 Espesor requerido para capacidad de cargas tangenciales

Con el objetivo de transmitir la carga tangencial, el espesor efectivo de laminado sándwich t_s no será menor al dado por la ecuación 43:

$$t_s \geq \sqrt{k_C} \frac{k_{SHC} \times P \times b}{1000 \times \tau_d} \text{ mm} \quad (43)$$

where

$t_s = t_c + 0,5 (t_i + t_o)$ is the distance between mid-thickness of the skins of the sandwich, in millimetres;

k_C is the curvature correction factor defined in Table 6;

t_o is the thickness of the sandwich outer skin, excluding gel coat, in millimetres;

t_i is the thickness of the sandwich inner skin, in millimetres;

t_c is the thickness of the core, in millimetres;

k_{SHC} is the shear strength aspect ratio factor, given in Table 12;

Where the elastic properties of the skins are different by > 25 % in the principal axes, k_{SHC} shall not be taken < 0,465;

P is the pressure (bottom, side, deck, etc.) for the panel in accordance with Clause 8, in kilonewtons per square metre;

b is the short dimension of the panel, according to 9.1.1, in millimetres;

τ_d is the design shear stress of the core, according to Table 11, in newtons per square millimetre.

Table 11 — Design shear strength of sandwich cores

Material	Core design shear stress τ_d (N/mm ²)
End grain balsa	0,5 τ_u ^a
Core having shear elongation at break < 35 % (cross-linked PVC, etc.)	0,55 τ_u
Core having shear elongation at break > 35 % (linear PVC, SAN, etc.)	0,65 τ_u
Honeycomb cores (to be compatible with marine application)	0,5 τ_u ^b
^a Where the balsa exhibits a low degree of variability in mechanical properties and measures are taken to seal the core by resin encapsulation in cases where it is used, τ_d may be taken as 0,55 τ_u .	
^b Use core properties in the direction of short span of the panel (b).	

τ_U is the minimum ultimate core shear strength according to Annex D, in newtons per square millimetre.

Table 12 — Shear strength aspect ratio factor k_{SHC}

l/b	> 4,0	3,0	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0
k_{SHC}^a	0,500	0,493	0,463	0,459	0,453	0,445	0,435	0,424	0,410	0,395	0,378	0,360	0,339
^a The values of k_{SHC} may be calculated by the equation $k_{SHC} = 0,035 + 0,394 \times \left(\frac{l}{b}\right) - 0,09 \times \left(\frac{l}{b}\right)^2$ for $l/b < 2$.													

NOTE k_{SHC} corresponds to the shear force on the large side of a rectangular panel.

10.5.5 Minimum core shear strength

For bottom laminate, the value of the design shear strength of the core, as used in 10.5.4 and derived from D.1.1 or D.1.2, shall be at least in accordance with to Table 13.

Table 13 — Minimum design core shear according to craft length

L_H (m)	< 10	10 to ≤ 15	15 to 24
τ_d min (N/mm ²)	0,25	$0,25 + 0,03 (L_H - 10)$	0,40

NOTE These values of τ_d min of 0,25 and 0,40 correspond respectively to cross-linked PVC cores of 50 kg/m³ and 75 kg/m³.

10.5.6 Requerimiento de la masa de fibra de la piel del sándwich mínima

Con el objetivo de reducir el riesgo de perforación de piel o daño, la masa de fibra mínima requerida en Kg/m² está dado por:

$$w_{os} = k_{DC} \times k_4 \times k_5 \times k_6 \times (0,1 L_{WL} + 0,15) \text{ kg/m}^2 \quad (44)$$

$$w_{is} = 0,7 \times w_{os} \text{ kg/m}^2 \quad (45)$$

Donde

w_{os} is the fibre mass per square metre of the outer skin, in kilograms per square metre;

w_{is} is the fibre mass per square metre of the inner skin, in kilograms per square metre;

k_4 is the sandwich minimum skin location factor where

$k_4 = 1$ for hull bottom,

$k_4 = 0,9$ for side shell,

$k_4 = 0,7$ for deck,

k_5 is the sandwich minimum skin fibre type factor where

$k_5 = 1,0$ for E-glass reinforcement containing up to 50 % of chopped strand mat by mass,

$k_5 = 0,9$ for continuous glass reinforcement (i.e. bi-axials, woven roving, unidirectionals, double bias or multiaxial),

$k_5 = 0,7$ for continuous reinforcement using aramid or carbon or hybrids thereof,

k_6 is the sandwich minimum skin care factor where

$k_6 = 0,9$ for craft where the sandwich outer skin is expected to be punctured after hitting a sharp object;

$k_6 = 1$ for other craft.

Si $k_6 = 0,9$ en el manual del propietario se advertirá que la embarcación puede fracturarse tras golpearse contra un objeto punzante y que dicho daño deberá ser reparado rápidamente.

10.6 Espesor mínimo para planchas de piel simple.

10.6.1 General

En adición a los requerimientos previos, los requerimientos de espesor mínimo para planchas de piel simple se establecen a continuación:

10.6.2 Espesor mínimo o masa de refuerzo para el casco

For metal or plywood
$$t_{\text{MIN}} = k_5 \times (A + k_7 \times V + k_8 \times m_{\text{LDC}}^{0,33}) \text{ mm} \quad (46)$$

For FRP, minimal dry fibre weight
$$w_{\text{MIN}} = 0,43 \times k_5 \times (A + k_7 \times V + k_8 \times m_{\text{LDC}}^{0,33}) \text{ kg/m}^2 \quad (47)$$

where A , k_5 , k_7 and k_8 are defined in Table 14. For sailing craft V shall be taken as $2,36 \sqrt{L_{\text{WL}}}$.

Table 14 — Minimum thickness factors

Material	Position	A	k_5	k_7	k_8
FRP	Bottom	1,5	As defined in 10.5.6	0,03	0,15
	Side/transom	1,5		0	0,15
Aluminium	Bottom	1,0	$\sqrt{(125 / \sigma_y)}$	0,02	0,1
	Side/transom	1,0		0	0,1
Steel	Bottom	1,0	$\sqrt{(240 / \sigma_y)}$	0,015	0,08
	Side/transom	1,0		0	0,08
Plywood	Bottom	3,0	$\sqrt{(30 / \sigma_{\text{uf}})}$	0,05	0,3
	Side/transom	3,0		0	0,3

10.6.3 Mínimo espesor de cubierta

Los valores mínimos del espesor de cubierta se derivan de la tabla 15.

Table 15 — Minimum deck thickness

Location	Deck minimum required thickness t_{MIN} mm			
	FRP	Aluminium	Steel	Wood, plywood
Deck	$k_5 (1,45 + 0,14 L_{\text{WL}})$	$1,35 + 0,06 L_{\text{WL}}$	$1,5 + 0,07 L_{\text{WL}}$	$3,8 + 0,17 L_{\text{WL}}$

Los requerimientos de la tabla 15 son dados en espesor t_{MIN} . Para FRP, este requerimiento se traduce en, masa de fibra seca usando las ecuaciones C.1 y C.3. El factor de tipo de fibra, k_5 , se define en 10.5.6.

11 Requerimientos de elementos de refuerzo

11.1 General

Las placas deben estar sujetas por una disposición de elementos de refuerzos (véase ISO 12215-6).

El esfuerzo relativo de los elementos de refuerzo primario y secundario debe ser tal, que la carga sea transferida de forma efectiva de la secundaria a la primaria, y luego a la placa (shell) y mamparos. Véase ISO 12215-6 para la definición de refuerzos primarios y secundarios.

Para moldes estructurales o de cartón de huevo, véase también ISO 12215-6.

11.2 Factor de ajuste de propiedades para refuerzos

11.2.1 Factor de curvatura para refuerzos k_{CS}

El factor de curvatura k_{CS} será tomada de la tabla 16.

Table 16 — Values of curvature factor for stiffeners k_{CS}

$\frac{c_u}{l_u}$	k_{CS}
0 to 0,03	1
0,03 to 0,18	1,1 – 3,33 (c_u/l_u)
> 0,18	0,5

where

c_u is the crown of a curved stiffener [see Figure 11 e)], in millimetres;

k_{CS} applies to convex or concave stiffeners; it shall not be taken < 0,5 nor > 1.

11.2.2 Factor de área esfuerzo tangencial k_{SA}

El factor de área esfuerzo tangencial k_{SA} será tomada de la tabla 17.

Table 17 — Values of shear area factor k_{SA}

Stiffener arrangements	k_{SA}
Attached to the plating	5
Other arrangements (floating)	7,5

11.3 Design stresses for stiffeners

Table 18 — Design stresses for stiffeners

Material	Tensile and compressive design stress σ_d N/mm ²	Design shear stress τ_d N/mm ²
FRP	0,5 σ_{ut} and 0,5 σ_{uc} ^a	0,5 τ_u
Aluminium alloys	0,7 σ_{yw} ^b	0,4 σ_{yw} ^b
Steel	0,8 σ_y	0,45 σ_y
Laminated wooden frames	0,45 σ_{uf} ^c	0,45 τ_u
Solid stock wooden frames	0,4 σ_{uf} ^c	0,4 τ_u
Plywood on edge frames	0,45 σ_{uf} ^c	0,45 τ_u
NOTE These design stresses also apply for the attached plating of the stiffener, according to its material.		
^a σ_c is considered where stressed in compression (usually the stiffener top flange) and σ_t is considered where stressed in tension (usually the plating); both verifications need to be calculated.		
^b For welded stiffeners. If aluminium stiffeners are not welded, i.e. riveted, glued, etc., the non-welded properties shall be used.		
^c σ_{uf} for laminated wooded stiffeners and σ_{uf} for solid stock shall be taken from Table E.1. For plywood, σ_{uf} shall not be taken from Table E.2 but from Tables E.3 or E.6.		

τ_u es la fuerza tangencial en el plano de rotura mínima del material de refuerzo, en N/mm². Las otras variables se han definido previamente.

Las propiedades mecánicas del material utilizado serán tomadas del Anexo C, E, o F según la relevancia.

11.4 Requerimientos para refuerzos de materiales similares

NOTA: Los materiales similares son aquellos donde las propiedades mecánicas difieren entre ellas <25%

11.4.1 Para cualquier material; módulo resistente mínimo y área del cortante (sección).

The web area A_W and minimum section modulus SM of stiffening members, including the effective plating (see 11.5) of the stiffening members, shall be not less than the values given by Equations (48) and (49):

$$A_W = \frac{k_{SA} \times P \times s \times l_u}{\tau_d} 10^{-6} \text{ cm}^2 \quad (48)$$

$$SM = \frac{83,33 \times k_{CS} \times P \times s \times l_u^2}{\sigma_d} 10^{-9} \text{ cm}^3 \quad (49)$$

where

k_{CS} is the curvature factor for stiffeners given in Table 16;

k_{SA} is the stiffener shear area factor given in Table 17;

P is the pressure (bottom, side, deck, etc.) for the panel in accordance with Clause 8, in kilonewtons per square metre;

s is the spacing of stiffeners, as defined in 9.2.1, in millimetres;

l_u is the length of the stiffener, as defined in 9.2.2, in millimetres;

σ_d is the design stress for stiffeners given in Table 18, in newtons per square millimetre;

A_W is the shear area (cross-sectional area of stiffener shear web), in square centimetres;

NOTE For top hats this area is the total of the areas of both sides.

τ_d is the design shear stress of the shear web as defined in Table 18, in newtons per square millimetre.

The shear loads implied by Equation (49) or given by Equation (52) shall be effectively transferred to the next supporting element (primary or shell structure). See ISO 2215-6 for details.

11.4.2 Requerimientos suplementarios para refuerzos de FRP

Para refuerzos de FRP, el segundo momento de áreas, incluyendo el enchapado efectivo, no será menor al proporcionado por la fórmula de la ecuación 50.

$$I = \frac{26 \times k_{CS}^{15} \times P \times s \times l_u^3}{k_{1S} \times E_{tc}} 10^{-11} \text{ cm}^4 \quad (50)$$

Donde

E_{tc} es el módulo medio de compresión/tracción del material (véase anexo C), en N/mm²

$k_{1S} = 0,05$ es el factor deflector para refuerzos (de flexión relativa permitida y/l_u).

11.6 Plancha efectiva

El borde inferior de elementos de refuerzo que trabaja bajo flexión es una plancha denominada “plancha efectiva” como se muestra en la figura 13. La extensión de la plancha efectiva be será

calculada según la tabla 19, pero en ningún caso será mayor que el espaciado entre refuerzos actual.

Table 19 — Values of b_e

Material	Steel	Aluminium	FRP single skin	FRP sandwich	Wood, plywood
b_e	80 t	60 t	20 t	20 ($t_o + t_i$) ^a	15 t
^a The attached plating is 20 times both inner and outer skins, separated by the core, which is considered ineffective, i.e $E_{core} = 0$.					

Donde el refuerzo tiene una anchura significativa puede ser añadida a b_e (véase figura 13 a)).

Las ecuaciones mostradas arriba son válidas para cualquier refuerzo, longitudinales, cuadernas, mamparos, etc.

Para refuerzos a lo largo de una abertura, la extensión efectiva será tomada como el 50% de la extensión, como se ha mostrado arriba.

En cualquier caso las propiedades mecánicas de la placa cónyuge será aquella paralela al refuerzo.

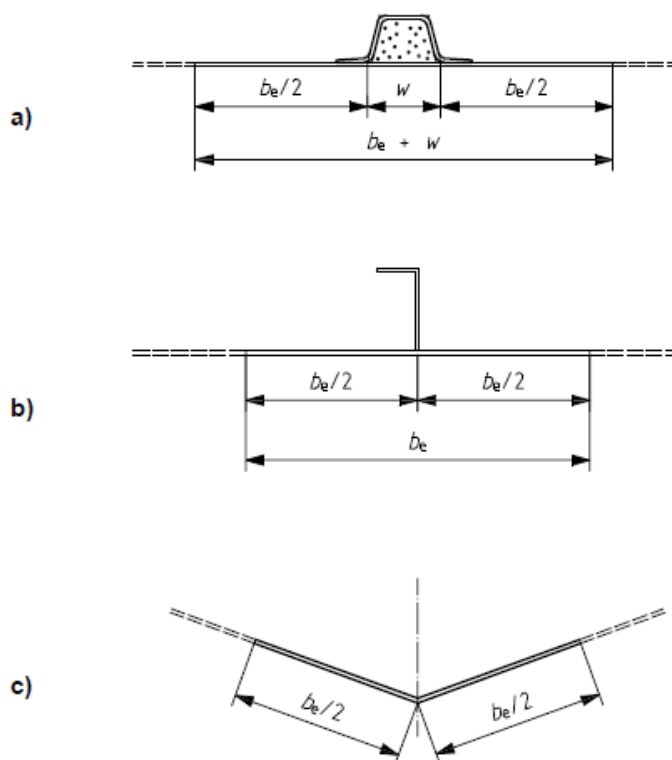


Figure 13 — Sketch showing the effective extent of plating around a stiffener (top hat, L and chine)

11.7 Dimensión de refuerzos total

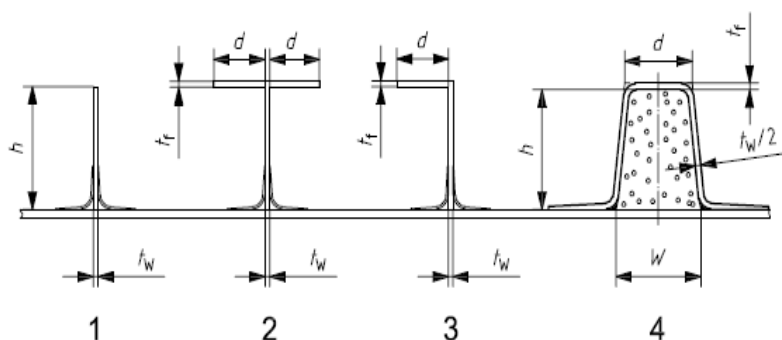
11.7.1 Geometría

La traducción de los requerimientos del módulo resistente mínimo, segundo momento de áreas y estructura tangencial en la geometría de un refuerzo puede ser hecho mediante las ecuaciones y las tablas del Anexo C, E y F.

11.7.2 Proporción máxima entre las dimensiones de un refuerzo

El valor máximo de la proporción entre las dimensiones de un refuerzo h/t_w y d/t_f para refuerzos en forma de I, T o L, o $h/(t_w/2)$ y d/t_f para la parte superior como se muestra en la figura 14 serán tomadas de la tabla 20 si el esfuerzo σ_{act} o T_{act} calculado es al menos el 80% del σ_d o T_d dados en la tabla 18 respectivamente; de lo contrario se utilizará la tabla 18. Estas proporciones normalmente evitan el riesgo de pandeo local en el refuerzo.

Fig. 14 – Proporción de refuerzos



Leyenda

1. Barra plana
2. T
3. L
4. Omega

Los requerimientos a continuación para la parte superior del FRP se aplican a elementos estructurales que no son soportados por un núcleo estructuralmente efectivo (como por ejemplo un poliuretano).

NOTE The slenderness ratios in Tables 20 and 21 are intended to provide a measure of resistance against instability, i.e. shear buckling of the web and inplane buckling of the flange. The formulae have been derived by relating the buckling stress to a multiple of the calculated stress under the design load. Similar formulae may be derived for complex lay-ups or sandwich by using the flexural rigidity (EI) in place of the single skin stiffness ($E_t^3/12$) in standard buckling equations and comparing this with the calculated stress to ensure a margin equivalent to that implied in Tables 20 and 21. The same method can be applied where an effective core stabilizes the web laminate against buckling using engineering formulae.

Table 20 — Maximum values of h/t_w and d/t_f if actual stress σ_{act} or τ_{act} is the same as σ_d or τ_d , respectively, given in Table 18

Material	Type of profile				
	Flat bar h/t_w max	T- or L-shaped stiffeners h/t_w max d/t_f max		Top-hat stiffeners $h/(t_w/2)$ max d/t_f max	
GRP 35 % fibres by mass	8	30	8	30	21
Aluminium	12	40	12	40	25
Steel	15	50	15	50	40
Carbon and/or aramid laminate 0/90 40-50 % fibre by mass	13	40	13	40	35
Plywood	10	40	10	40	25

Table 21 — Maximum allowable values of h/t_w and d/t_f if actual stress σ_{act} or τ_{act} is less than the design stress, respectively σ_d or τ_d , given in Table 18

Material	Type of profile				
	Flat bar h/t_w max	T- or L-shaped stiffeners h/t_w max d/t_f max		Top-hat stiffeners $h/(t_w/2)$ max d/t_f max	
All materials	As in Table 20	Value of Table 20 $\times \sqrt{k_{AS}}$	As in Table 20	Value of Table 20 $\times \sqrt{k_{AS}}$	Value of Table 20 $\times \sqrt{k_{SM}}$

Donde

t_w is the total thickness of the solid stiffener web or solid panel bulkhead, in millimetres;

t_f is the thickness of the outstanding face bar of the stiffener flange, in millimetres;

h is the height of the stiffener web, in millimetres;

d is the width of the outstanding face bar of the stiffener flange, in millimetres;

E is the elastic compression or elastic modulus of the stiffener web or flange, in newtons per square millimetre;

σ_d is the design compressive stress of the web or flange according to Table 18, in newtons per square millimetre;

τ_d is the design shear stress of the web or flange according to Table 18, in newtons per square millimetre;

σ_{act} is the actual compressive stress in the web or flange, in newtons per square millimetre;

τ_{act} is the actual shear stress in the web or flange, in newtons per square millimetre.

$k_{AS} = \frac{\text{Actual area of web}}{\text{Area of web required by Equation (48)}} \text{ or } \frac{\text{Actual shear force}}{F_D \text{ from Equation (51)}}$ is the shear force correction.

NOTE 1 The second case for k_{AS} is better suited for composite stiffeners analysed by Annex H.

$k_{SM} = \frac{\text{Actual section modulus of stiffener}}{SM \text{ required by Equation (49)}} \text{ or } \frac{\text{Actual } M_B}{M_B \text{ from Equation (52)}}$ is the stiffener M_B correction.

NOTE 2 The second case for k_{SM} is better suited for composite stiffeners analysed by Annex H.

11.7.3 Conexión entre refuerzo y placa

La conexión entre el refuerzo y la placa debe ser capaz de transmitir con gran margen de seguridad, la carga tangencial dada en la ecuación 51 o implícito en la ecuación 48. El Anexo G o H o ISO 12215-6 detallan tales conexiones.

11.8 Mamparos estructurales

11.8.1 Mamparos de madera contrachapada: NA

11.8.2 Mamparos sándwich

11.8.2.1 Núcleo

En adición al requerimiento de 11.8.2.2 y 11.8.2.3

- la fuerza cortante del núcleo será de acuerdo con 10.5.5 y la tabla 13
- el espesor del núcleo será al menos cinco veces el espesor de la piel más fina.

11.8.2.2 Mamparo sándwich con pieles de madera contrachapada idéntica: NA

11.8.2.3 Mamparo sándwich con pieles DRP idénticas

El espesor de la piel t_s y del núcleo t_c será tal que:

$$t_s \times t_c \geq \frac{t_b^2}{6} \left(\frac{25}{\sigma_d} \right) \text{ mm} \quad (57)$$

and

$$t_s \times \frac{t_c^2}{2} \geq \frac{t_b^3}{12} \left(\frac{4\,000}{E_{io}} \right) \text{ mm} \quad (58)$$

Donde

t_b es el espesor del mamparo de madera contrachapada definido en la ecuación 54; σ_d y E_{io} son los valores de la piel, dada por el Anexo C.

11.8.3 Mamparos metálicos NA

11.9 Soporte estructural para quillas de lastre de veleros: NA

18571 - Real Decreto 2127/2004, de 29 de Octubre

Por el que se regulan los requisitos de seguridad de las embarcaciones de recreo, de las motos náuticas, de sus componentes y de las emisiones de escape y sonoras de sus motores. Capítulo I. Disposiciones generales

Artículo 3. Definiciones

a) Embarcación de recreo: toda embarcación de cualquier tipo, con independencia de su medio de propulsión, cuyo casco tenga una eslora comprendida entre 2,5 y 24 m, medida según los criterios fijados en las normas armonizadas aplicables y proyectada para fines deportivos o de ocio. Asimismo, están sujetas a lo dispuesto en este real decreto estas embarcaciones cuando se utilicen con ánimo de lucro o con fines de entrenamiento para la navegación de recreo.

c) Motor de propulsión: todo motor de combustión interna de encendido por chispa o por compresión de dos tiempos o de cuatro tiempos utilizado con fines de propulsión, incluidos los

motores intraborda, mixtos (dentro fueraborda) con o sin escape integrado y fueraborda de dos tiempos y de cuatro tiempos.

d) Modificación importante del motor: toda modificación de un motor que pueda dar lugar a que el motor supere los límites de emisión que figuran en la parte B del anexo I (la sustitución normal de componentes del motor que no alteren las características de emisión no se considerará modificación importante del motor) o bien que aumente la potencia nominal del motor en más de un 15 por ciento.

f) Medio de propulsión: todo sistema mecánico destinado a impulsar la embarcación, en particular hélices de chorro de agua accionadas por tracción mecánica.

Artículo 4. Utilización.

1. Para su utilización en aguas marítimas en las que España ejerce soberanía, derechos soberanos o jurisdicción, los productos incluidos en el ámbito de aplicación de este real decreto deberán cumplir los requisitos básicos de seguridad marítima y protección del medio ambiente marino que figuran en el anexo I.

3. Podrán utilizarse en aguas marítimas en las que España ejerce soberanía, derechos soberanos o jurisdicción, y se considerará que cumplen los requisitos básicos de seguridad marítima y de protección del medio ambiente a que se refiere el apartado 1 anterior:

a) Los productos enumerados en el apartado 1 del artículo 2 que lleven el marcado «CE», regulado en el artículo 7 y descrito en el anexo IV, que indica su conformidad con lo dispuesto en este real decreto, incluidos los procedimientos de evaluación de la conformidad enunciados en el capítulo II.

Capítulo II. Evaluación de la conformidad

Artículo 6. Procedimientos de evaluación de la conformidad.

b) Para la categoría C:

1. ^º Embarcaciones cuyo casco tenga una eslora comprendida entre 2,5 y 12 metros:

Si se cumplen las normas armonizadas relativas a los apartados 3.2 y 3.3 de la parte A del anexo I: el control interno de la producción (módulo A), mencionado en el anexo V, o el control interno de la producción, más ensayos (módulo A bis) mencionado en el anexo VI, o el examen «CE de tipo» (módulo B), descrito en el anexo VII, complementado por la conformidad con el tipo (módulo C) mencionado en el anexo VIII, o cualquiera de los módulos siguientes: B+D, B+E, B+F, G o H.

Si no se cumplen las normas armonizadas relativas a los apartados 3.2 y 3.3 de la parte A del anexo I: el control interno de la producción, más ensayos (módulo A bis) mencionado en el anexo VI, o el examen «CE de tipo» (módulo B), descrito en el anexo VII, complementado por la conformidad con el tipo (módulo C) mencionado en el anexo VIII, o cualquiera de los módulos siguientes: B+D, B+E, B+F, G o H.

ANEXO I

Requisitos básicos (A los efectos de este anexo, el término «embarcación» se entenderá referido a las embarcaciones de recreo y a las motos náuticas)

A. REQUISITOS BÁSICOS DE SEGURIDAD PARA EL DISEÑO Y LA CONSTRUCCIÓN DE EMBARCACIONES

Definiciones:

C. En aguas costeras: embarcaciones diseñadas para viajes en aguas costeras, grandes bahías, grandes estuarios, lagos y ríos, en los que puedan encontrarse vientos de hasta fuerza 6 y olas de altura significativa de hasta dos metros.

En cada categoría, las embarcaciones deben estar diseñadas y construidas para resistir estos parámetros por lo que respecta a la estabilidad, la flotabilidad y demás requisitos básicos enumerados en el anexo I y deben poseer buenas características de manejabilidad.

3. Requisitos relativos a la integridad y a las características de construcción

9. Fondeo, amarre y remolque: toda embarcación, teniendo en cuenta su categoría de diseño y características, irá provista de uno o varios puntos fuertes o de otros medios que admitan, sin menoscabo de la seguridad, cargas de fondeo, de amarre o de remolque.

5. Requisitos relativos a los equipos y a su instalación

1. Motores y recintos para motores:

1. Motores instalados a bordo: todo motor instalado a bordo se colocará dentro de un recinto cerrado y aislado de la zona de habitación y de forma que se limite al máximo el peligro de las incendios o de propagación de incendios en zonas de habitación y el riesgo de exposición a humos de escape tóxicos, calor, ruido o vibraciones en la zona de habitación.

Las partes y accesorios del motor que exijan inspecciones o revisiones frecuentes deberán ser fácilmente accesibles. Los materiales aislantes dentro del recinto del motor serán incombustibles.

2. Ventilación: el compartimiento del motor estará ventilado. Se impedirá toda entrada peligrosa de agua a dicho compartimiento por cualquiera de las bocas de ventilación.

3. Partes al descubierto: cuando el motor o motores no estén protegidos por una tapa o por su propio recinto, las partes calientes o móviles del motor que estén al descubierto y puedan ocasionar lesiones corporales estarán debidamente protegidas.

4. Arranque de los motores fueraborda: toda embarcación con motor fueraborda tendrá un dispositivo que evite la puesta en marcha del motor con una marcha metida, excepto:

a) Cuando el motor tenga un empuje estático inferior a 500 N.

b) Cuando el motor tenga un dispositivo limitador de la aceleración que permita limitar el empuje a 500 N en el momento de poner en marcha el motor.

2. Depósitos de combustible: los depósitos, tubos y conductos de combustible estarán firmemente fijados y separados o protegidos de cualquier fuente importante de calor. El

material y el método de construcción de los depósitos estarán en consonancia con su capacidad y con el tipo de combustible. Todas las zonas ocupadas por depósitos estarán ventiladas. La gasolina se almacenará en depósitos que no formen parte del casco y estén:

- a) Aislados del compartimento del motor y cualquier otra fuente de inflamación.
- b) Separados de la zona de habitación. El combustible diésel podrá almacenarse en depósitos integrados en el casco.

3. Sistema eléctrico: los sistemas eléctricos estarán diseñados e instalados de modo que garanticen el funcionamiento adecuado de la embarcación en condiciones normales de uso y que reduzcan al mínimo el peligro de incendio y de electrocución. Todos los circuitos alimentados por las baterías, excepto los de puesta en marcha del motor, tendrán una protección contra la sobrecarga y los cortocircuitos. Se dispondrá de ventilación para impedir la acumulación de gases procedentes de las baterías. Las baterías estarán firmemente fijadas y protegidas del agua.

4. Sistema de gobierno:

1. Generalidades: los sistemas de gobierno estarán diseñados, contruidos e instalados de forma que permitan la transmisión de la carga de gobierno en condiciones de funcionamiento previsibles.

2. Dispositivos de emergencia: las embarcaciones de vela y las embarcaciones de un solo motor intraborda dotadas de un sistema de accionamiento a distancia del timón irán provistas de un medio de emergencia que permita gobernarlas a velocidad reducida.

ANEXO II

Componentes

2. Mecanismo que impide la puesta en marcha de los motores fueraborda cuando esté engranada alguna de las marchas.

3. Timones, mecanismos de dirección y conjuntos de cables.

4. Depósitos de combustible destinados a instalaciones fijas y conductos de combustible

ANEXO VI

Control interno de la producción, más ensayos (Módulo A bis, opción 1)

Este módulo consta del módulo A, tal y como aparece en el anexo V, más los requisitos suplementarios siguientes:

A. Diseño y construcción: En una o varias de las embarcaciones representativas de la producción del fabricante, este u otra persona en su nombre realizará uno o más de los siguientes ensayos, cálculos equivalentes o controles: ensayo de estabilidad de acuerdo con el apartado 3.2 de los requisitos básicos de la parte A del anexo I, ensayo de flotabilidad de acuerdo con el apartado 3.3 de los requisitos básicos de la parte A del anexo I.

Estos ensayos, cálculos o controles deberán llevarse a cabo bajo la responsabilidad de un organismo notificado elegido por el fabricante.

B. Emisiones sonoras: Para las embarcaciones de recreo equipadas con motores intraborda o mixtos sin escape integrado y para las motos náuticas: en una o varias de las embarcaciones representativas de la producción del fabricante de embarcaciones, este u otra persona en su nombre realizará los ensayos sobre emisiones sonoras establecidos en la parte C del anexo I, bajo la responsabilidad del organismo notificado elegido por el fabricante.

Para los motores fueraborda y los motores mixtos con escape integrado: en uno o varios motores de cada familia de motores representativa de la producción del fabricante de motores, este u otra persona en su nombre realizará los ensayos sobre emisiones sonoras establecidos en la parte C del anexo I, bajo la responsabilidad del organismo notificado elegido por el fabricante. En caso de que se ensaye más de un motor perteneciente a una familia de motores, deberá aplicarse el método estadístico descrito en el anexo XVII para garantizar la conformidad de la muestra.

9581 - ORDEN FOM 1144/2003 de 28 de Abril

Por la que se regulan los equipos de seguridad, salvamento, contra incendios, navegación y prevención de vertidos por aguas sucias, que deben llevar a bordo las embarcaciones de recreo.

CAPÍTULO I

Disposiciones generales

Artículo 2. Ámbito de aplicación.

3. En todo caso, las embarcaciones citadas en el punto 2 cuya eslora sea igual o superior a 2,5 metros, y que no sean artefactos flotantes o de playa de los relacionados en la letra a), requerirán de la previa autorización de la Capitanía Marítima correspondiente para navegar en las Zonas establecidas en el artículo 3. La Capitanía Marítima fijará las Zonas para las cuales autoriza la navegación, en función de las características de la embarcación, y los equipos de seguridad que deben reunir dichas embarcaciones.

C) Zona de navegación en aguas costeras. Comprende las siguientes Zonas de navegación: Zona «4». Navegación en la zona comprendida entre la costa y la línea paralela a la misma trazada a 12 millas.

Zona «5». Navegación en la cual la embarcación no se aleje más de 5 millas de un abrigo o playa accesible.

Zona «6». Navegación en la cual la embarcación no se aleje más de 2 millas de un abrigo o playa accesible.

D) Zona de navegación en aguas protegidas. Le corresponde la siguiente Zona:

Zona «7». Navegación en aguas costeras protegidas, puertos, radas, rías, bahías abrigadas y aguas protegidas en general.

Categoría de Diseño (Anexo I 1 del R.D. 297/1998)			Definición	Zonas de Navegación correspondientes
Embarcaciones diseñadas para la navegación	Fuerza del Viento (Escala Beaufort)	Altura significativa de las olas (metros)		
C: En aguas costeras	Hasta 6 incluido	Hasta 2 incluido	Embarcaciones diseñadas para viajes en aguas costeras, grandes bahías, y grandes estuarios, lagos y ríos, en los que pueden encontrarse vientos de hasta fuerza 6 y olas de altura significativa de hasta 2 metros.	4, 5, 6, 7

CAPÍTULO II

Elementos de salvamento

Artículo 7. Chalecos salvavidas.

2. Las embarcaciones que naveguen en las Zonas 2 a 7 llevarán como mínimo un chaleco salvavidas por persona autorizada.
3. Se proveerán chalecos salvavidas para el 100% de niños a bordo.
4. Los chalecos salvavidas inflables serán revisados anualmente en una Estación de servicio autorizada.
5. Los chalecos salvavidas podrán ser de tipo:
 - a) SOLAS, homologado por la Dirección General de la Marina Mercante.
 - b) SOLAS, homologado por un organismo notificado con la marca de rueda de timón de acuerdo con el Real Decreto 809/1999, de 14 de mayo.
 - c) «CE», homologado por un organismo notificado de acuerdo con el Real Decreto 1407/1992, de 20 de noviembre, por el que se regulan las condiciones para la comercialización y libre circulación intracomunitaria de los equipos de protección individual.
6. La flotabilidad requerida en los chalecos de marcado «CE», se indica en el cuadro resumen que figura en el artículo siguiente.

CUADRO RESUMEN		
ELEMENTO	ZONA DE NAVEGACIÓN 4	ZONA DE NAVEGACIÓN 5, 6, 7

BALSAS SALVAVIDAS	NO	NO
CHALECOS SALVAVIDAS	100% Personas SOLAS o CE (150 N) (2)	100% Personas SOLAS o CE (100 N) (3)
AROS SALVAVIDAS	1	NO

(2) Chaleco «CE»: flotabilidad mínima requerida según norma UNE-EN 396:1995.

(3) Chaleco «CE»: flotabilidad mínima requerida según norma UNE-EN 395:1995.

Artículo 9. Señales de socorro.

1. Toda embarcación de recreo deberá disponer de las señales pirotécnicas de socorro que se indican en la tabla siguiente, según la Zona de navegación que le haya sido asignada.

CLASE DE SEÑAL	ZONA DE NAVEGACIÓN 3, 4	ZONA DE NAVEGACIÓN 5, 6
Cohetes con luz roja y paracaídas	6	-
Bengalas de mano	6	3
Señales fumígenas flotantes	1	-

2. Todas las señales deberán estar homologadas, de acuerdo con lo establecido en el Real Decreto 809/1999, de 14 de mayo.

CAPÍTULO III

Equipo de navegación

2. En caso de navegación diurna exclusivamente, hasta 12 millas de la costa y/o en embarcaciones de menos de 7 metros de eslora, y se podrá prescindir de las luces de navegación, pero se deberá llevar una linterna eléctrica de luz blanca con baterías de repuesto.

3. Las luces de navegación podrán aceptarse si han sido homologadas por cualquier país de la Unión Europea. Las embarcaciones de las Zonas 5, 6 y 7, pueden llevar luces no homologadas, incluso a pilas, siempre que estén en buen estado y en navegación diurna exclusivamente.

Artículo 11. Líneas de fondeo.

1. Todas las embarcaciones deberán disponer de una línea de fondeo cuya longitud no podrá ser inferior a cinco veces la eslora de la embarcación.
2. La longitud del tramo de cadena será como mínimo igual a la eslora de la embarcación, excepto en las embarcaciones menores de 6 metros de eslora en las que la línea de fondeo puede estar constituida enteramente por estacha.
3. No son admisibles cadenas ni estachas empalmadas sin grillete.
4. En la tabla siguiente, se indican los diámetros de cadena y de estacha y el peso del ancla que cada embarcación deberá llevar en función de su eslora:

ESLORA (m)	Peso del Ancla (kg)	Diámetro de cadena (mm)	Diámetro de estacha (mm)
L = 5	3,5	6	10

6. El diámetro de la estacha está referido a estachas de nylon; en todo caso su carga de rotura será mayor que la de la cadena.
7. El peso de las anclas indicado en la tabla corresponde a anclas de alto poder de agarre (con una tolerancia del 10%), por lo que el peso debe aumentarse en un tercio en otros tipos de anclas. El peso del ancla podrá dividirse en dos anclas, siendo el peso del ancla principal no menor del 75% del peso total.

Artículo 12. Material náutico.

1. Las embarcaciones de recreo, deberán disponer del material náutico que se señala en la tabla siguiente, y reunir los requisitos que se indican en el apartado 2, siempre de acuerdo con la Zona de navegación que le haya sido asignada. La relación de la tabla no es limitativa, pudiendo disponerse de elementos que correspondan a Zona de navegación superiores a la suya propia.

MATERIAL	Zona de Navegación		REQUISITOS
	3,4	5, 6, 7	
Compás	1	-	a)
Corredera	-	-	b)
Sextante	-	-	c)
Cronómetro	-	-	

Compás de puntas	-	-	
Transportador	-	-	
Regla de 40 cm	-	-	
Prismáticos	1	-	
Cartas y libros náuticos	1	-	d)
Bocina de niebla	1	1	e)
Barómetro	-	-	
Campana o similar	1	-	f)
Pabellón nacional	1	1	
Código de banderas	-	-	g)
Linterna estanca	1	-	h)
Diario de navegación	-	-	
Espejo de señales	1	1	
Reflector de radar	1	-	i)
Código de señales	1	1	j)

2. Requisitos:

4 deberán llevar un compás de gobierno.

iii. En todos los casos, se evitarán las acciones perturbadoras sobre el compás, tales como las derivadas de instalaciones radioeléctricas o circuitos eléctricos.

iv. El compás podrá ser el compás magnético o el compás para botes salvavidas regulado en el Anexo A.1 del Real Decreto 809/1999, de 14 de mayo.

d) Cartas y libros náuticos.

i. Llevarán las cartas que cubran los mares por los que navegue según las respectivas Categorías y los portulanos de los puertos que utilicen.

ii. Son obligatorios el Cuaderno de Faros y un Derrotero de la zona en que naveguen, el Anuario de Mareas (excepto en el Mediterráneo), el Manual de Primeros Auxilios, el Reglamento de Radiocomunicaciones si montan radio y el Código Internacional de Señales, para las navegaciones en la Zona 1.

e) Bocina de niebla. Puede ser a presión manual o sustituible por bocina accionada por gas en recipiente a presión. En este caso, se dispondrá de una membrana y un recipiente de gas como respetos.

f) Campana. En embarcaciones de eslora igual o superior a 15 metros, el peso de la campana será de 5 kilogramos como mínimo. En esloras inferiores a 15 metros, la campana no es obligatoria pero se deberá disponer de medios para producir algún sonido de manera eficaz.

h) Linterna estanca. Se dispondrá de una bombilla y un juego de pilas de respeto.

i) Reflector de Radar. Se colocará en embarcaciones de casco no metálico.

j) Código de señales. Si monta aparatos de radiocomunicaciones.

Artículo 13. Material de armamento diverso.

1. Toda embarcación de recreo deberá llevar a bordo el siguiente material de armamento:

a) Una caña de timón de emergencia en embarcaciones de vela y en las de un solo motor si el gobierno es a distancia, excepto si el motor es fueraborda o de transmisión en z.

b) Un mínimo de dos estachas de amarre al muelle (en su caso), de longitud y resistencia adecuados a la eslora de la embarcación.

c) Un bichero.

d) Un remo de longitud suficiente y dispositivo de boga, o un par de zaguales para embarcaciones de eslora inferior a 8 metros.

e) En las embarcaciones neumáticas rígidas y semirrígidas, un inflador y un juego de reparación de pinchazos.

f) Un botiquín:

i. Las embarcaciones con tripulación contratada, deberán contar con el botiquín prescrito en el Real Decreto 258/1999, de 12 de febrero, por el que se establecen las condiciones mínimas sobre la protección de la salud y la asistencia médica de los trabajadores del mar y la Orden PRE/930/2002, de 23 de abril (botiquines tipos A, B y C, según el alejamiento de la costa y tiempo de navegación).

ii. Las embarcaciones sin tripulación contratada, autorizadas para la Zona de navegación 5, deberán contar con el botiquín tipo número 4, según la Orden de 4 de diciembre de 1980 sobre botiquines a bordo de los buques y embarcaciones mercantes nacionales.

iii. Las embarcaciones sin tripulación contratada, autorizadas para las Zonas de navegación 3 y 4, deberán contar con el botiquín tipo Balsa de salvamento (según las disposiciones citadas en el punto i).

CAPÍTULO IV

Medios contra incendios y de achique

Artículo 14. Extintores portátiles.

2. Extintores afectos a la embarcación y sus instalaciones:

Extintores exigidos en función de la eslora	
L	Número y tipo de extintores *
Si tiene cabina cerrada y L R 10 m	1, tipo 21 B

(*) Tipo de extintores: eficacia mínima.

3. Extintores afectos a la instalación propulsora.

a) Las embarcaciones dotadas de uno o más motores deberán llevar los extintores afectos al compartimento motor cuyo número se indica en la tabla, o una instalación fija de extinción de incendios que cumpla con lo indicado en el artículo siguiente.

b) Si la eslora es menor de 10 metros, estos extintores servirán para cumplir lo exigido en el punto 2.

c) Para las embarcaciones con motores fueraborda de menos de 20 kilovatios adscritas a las Categorías de Navegación 6 y 7, no será obligatoria la instalación de extintor.

Número de extintores exigidos en función de la potencia instalada a bordo

Potencia máxima instalada	Número y tipo de extintores*
$P < 150 \text{ kW}$	1 tipo 21 B.

(*) Tipo de extintores: eficacia mínima.

Artículo 17. Baldes contra incendios.

Todas las embarcaciones de recreo deberán ir provistas de los baldes que se indican en el siguiente cuadro:

Zona de Navegación	Número de baldes Contra incendios con rabiza
3, 4	1

1. Serán ligeros y de fácil manejo y dispondrán de una capacidad mínima de 7 litros. Se aceptan los fabricados de material plástico siempre que sean de construcción robusta y sus asas no puedan desprenderse.

Artículo 18. Extracción de gases.

Los motores interiores con arranque eléctrico que utilicen combustible clasificado del grupo 1º según el artículo 19, deberán disponer de un ventilador eléctrico antideflagrante (según Norma ISO 8846) que funcione por aspiración y descargue directamente al exterior, y capaz de renovar por completo el aire del compartimento del motor y de los tanques de combustible en menos de cuatro minutos. El circuito eléctrico del ventilador será independiente del circuito de arranque del motor, con objeto de ventilar el compartimento antes del arranque. Junto al dispositivo de arranque habrá una placa visible en castellano que recuerde la necesidad de ventilar el compartimento del motor durante cuatro minutos antes de arrancar los motores.

Artículo 19. Clasificación de combustibles.

A los efectos de lo previsto en la presente Orden, los combustibles utilizados a bordo de las embarcaciones de recreo se clasifican en dos grupos:

- a) Grupo 1º, Combustibles líquidos cuyo punto de inflamación sea inferior a 55°C (combustible hidrocarburado que es líquido a la presión atmosférica y se usa en motores de ignición por chispa).
- b) Grupo 2º, Combustibles líquidos cuyo punto de inflamación sea igual o superior a 55°C (combustible hidrocarburado que es líquido a la presión atmosférica y se usa en motores de ignición por compresión).

Artículo 20. Medios de achique.

1. Sin perjuicio de los medios de achique exigidos para las embarcaciones con el marcado CE, las embarcaciones de recreo deberán al menos ir provistas de los medios de achique que se indican a continuación, de acuerdo con las Zonas de navegación:

- b) En las Zonas 4, 5 y 6, un balde y una bomba.
- c) En la Zona 7, una bomba manual o eléctrica. Para $L \leq 6$ m con cámaras de flotabilidad, un achicador.
- e) En embarcaciones con compartimentos de sentina separados se deben proveer similares medios de bombeo.

2. La capacidad de las bombas no debe ser menor de (a una presión de 10 kPa):

- a) 10 litros/min para $L \leq 6$ m. Para bombas manuales, la capacidad debe alcanzarse con 45 emboladas por minuto.

3. Las bombas que se encuentren en espacios cerrados que contengan motores o tanques de combustible del grupo 1, deberán ser antideflagrantes.

CAPÍTULO V

Prevención de vertidos

Artículo 21. Aplicación.

Además de por lo señalado en el artículo 60 de la Ley 27/1992, de 24 de noviembre, la prevención de vertidos de aguas sucias y contaminantes se regirá por lo dispuesto en este capítulo.

Artículo 22. Vertidos de aguas sucias y contaminantes.

Las embarcaciones estarán construidas y/o dotadas de modo que se evite que se produzcan vertidos accidentales de aguas sucias y de contaminantes tales como aceite o combustibles, en el agua.

Anexo C: Cálculo del sistema de autovaciado

Para el cálculo del sistema de autovaciado se ha recurrido al Anexo C de la normativa EN ISO 11812:2001. Dicho anexo no se encuentra entre las recopilaciones de esta normativa del Anexo B del presente proyecto. A continuación se detallan los pasos.

NOTA: el procedimiento calcula las especificaciones mínimas necesarias para dos desagües de sección circular.

Paso 1. Datos necesarios

V_c	Volumen en la bañera desde el fondo hasta el borde de entrada	m ³
L_H	Eslora de casco	m
B_{máx.}	Manga máxima	m
F_M	Francobordo en 0,5LWL	m
h_c	Altura de retención del agua en la bañera	m
L_c	Longitud del desagüe	m

Paso 2. Determinación del tiempo máximo de vaciado, $t_{máx.}$

Para ello primero se calcula el coeficiente de volumen de bañera k_C .

$$k_C = \frac{V_C}{L_H B_{máx.} F_M}$$

Para embarcaciones de la categoría C:

$$t_{máx.} = \frac{0,6}{k_C} \text{ min}$$

Paso 3. Cálculo del tiempo de referencia, $t_{ref.}$

$$t_{ref.} = \frac{t_{máx.}}{V_C} \text{ min}$$

Paso 4. Cálculo del coeficiente C_1 .

El coeficiente C_1 , se determina a partir de h_c , en la tabla siguiente.

Se utiliza la interpolación lineal si es necesario

h_c	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50	1,60	1,70	1,80	1,90	2,00
C₁	0,83	0,98	1,00	0,99	0,97	0,94	0,91	0,89	0,86	0,84	0,82	0,80	0,78	0,77	0,75	0,73	0,72	0,71	0,69

Paso 5. Determinación de un diámetro de desagüe preliminar.

A partir del tiempo de referencia $t_{ref.}$ calculado se determina el diámetro, d que más convenga, según los casos expuestos en la tabla siguiente. Se selecciona el diámetro correspondiente a un $t_{ref.}$ inmediatamente más rápido al obtenido en el paso 3.

Tabla 4
Diámetro de desagüe como función de t_{ref} y disposición de desagüe típica

Disposición de desagüe típica	Valores de t_{ref} (min)																		
	8,8	5,8	4,1	3,0	2,3	1,8	1,5	1,2	1,0	0,9	0,8	0,7	0,5	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2
Salida del desagüe por encima de W_L , sin codo	10,0	6,7	4,7	3,5	2,7	2,2	1,8	1,5	1,3	1,1	0,9	0,8	0,6	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2
Salida del desagüe por encima de W_L , dos codos	10,8	7,2	5,1	3,9	3,0	2,4	2,0	1,6	1,4	1,2	1,0	0,9	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,3	0,2
Salida del desagüe por debajo de W_L , sin codo	11,8	7,9	5,7	4,3	3,3	2,7	2,2	1,8	1,5	1,3	1,2	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3
Salida del desagüe por debajo de W_L , dos codos	10,1	7,0	5,2	3,9	3,1	2,5	2,1	1,8	1,5	1,3	1,1	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3
Porta de desagüe por encima de W_L , sin tapa	15,2	10,5	7,7	5,9	4,7	3,8	3,1	2,6	2,2	1,9	1,7	1,5	1,2	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4
Porta de desagüe por encima de W_L , sin tapa	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	90	100	110	120	130	140	150

Paso 6. Determinación del coeficiente C_3 .

El coeficiente C_3 , corresponde con los casos en que el desagüe está por debajo del nivel del agua. Que es el caso más desfavorable y por otro lado el caso del presente proyecto cuando la bañera rebosa de agua hasta por su borde de entrada.

Para el caso en que el desagüe se encuentra por encima del nivel del agua hay que determinar C_2 . Que no se detallará en el presente documento.

C_3 se determina con la tabla siguiente, dado una diámetro d (el diámetro preliminar del paso 5), y una longitud de desagüe.

Tabla C.4
Valores para C_3 para $h_c = 0,4$ m y salida de desagüe por debajo de la flotación

Longitud de desagüe L (m)		0,20	0,40	0,60	0,80	1,00	1,20
Diámetro del desagüe d (mm) =	25	1,49	1,55	1,61	1,67	1,72	1,77
	30	1,48	1,53	1,57	1,62	1,66	1,71
	35	1,47	1,51	1,55	1,59	1,63	1,66
	40	1,47	1,50	1,53	1,57	1,60	1,63
	45	1,46	1,49	1,52	1,55	1,58	1,60
	50	1,46	1,49	1,51	1,53	1,56	1,58
	55	1,46	1,48	1,50	1,52	1,54	1,57
	60	1,46	1,47	1,49	1,51	1,53	1,55
	65	1,45	1,47	1,49	1,51	1,52	1,54
	70	1,45	1,47	1,48	1,50	1,52	1,53
	80	1,45	1,46	1,48	1,49	1,50	1,52
	90	1,45	1,46	1,47	1,48	1,49	1,51
	100	1,45	1,46	1,47	1,48	1,49	1,50
	110	1,44	1,45	1,46	1,47	1,48	1,49
	120	1,44	1,45	1,46	1,47	1,48	1,49
	130	1,44	1,45	1,46	1,47	1,47	1,48
	140	1,44	1,45	1,46	1,46	1,47	1,48
	150	1,44	1,45	1,45	1,46	1,47	1,47

Paso 7. Determinación del diámetro final del desagüe.

Para la determinación de la sección final del desagüe, se calcula el siguiente valor para poder utilizar la tabla que se muestra en este paso.

$$\frac{t_{ref.}}{C_1 C_3}$$

Tabla C.2
Diámetro de desagüe como función de $t_{ref}/(C_1 C_2)$ de $t_{ref}/(C_1 C_3)$

$t_{ref}/(C_1 C_2)$ o $t_{ref}/(C_1 C_3)$	9,47	6,06	4,21	3,09	2,37	1,87	1,52	1,25	1,05	0,90	0,77	0,67	0,59	0,47	0,38	0,31	0,26	0,22	0,19	0,17
Diámetro de desagüe (mm)	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	90	100	110	120	130	140	150
Sección de desagüe (cm ²)	3	5	7	10	13	16	20	24	28	33	38	44	50	64	79	95	113	133	154	177

Se escoge el diámetro inmediatamente mayor al correspondiente al tiempo requerido. Si es necesario se recurre al uso de la interpolación lineal.

Anexo D: Cálculo del escantillonado

Para el cálculo del escantillonado mínimo necesario, hay que utilizar una serie de formulas detalladas en el Anexo B, normativa ISO 12215-5. Siguiendo los pasos que se detallan en el y sabiendo que se utiliza la fibra de vidrio como material de escantillonado, se sigue el siguiente procedimiento.

Donde a partir se referira a la normativa ISO 12215-5:2008 como solo, normativa.

Para el calculo del escantillonado del casco

Paso 1. Datos necesarios.

Datos de la embarcación

LWL	Eslora de flotación	m
Bc	Manga entre pantoques a 0,4LWL a proa desde la popa	m
$\beta_{0,4}$	Ángulo de astilla muerta a 0,4LWL a proa desde la popa	°
V	velocidad	kn
m_{LDC}	Desplazamiento en carga máxima	kg

Datos a calcular, constates a lo largo del proceso, porque dependen de los datos de la embarcación.

k_{DC}	Factor de categoría de diseño	-
n_{CG}	Factor de carga dinámico	-
$P_{BM\ MIN}$	Presión de fondo mínimo para embarcaciones a motor en desplazamiento	kN/m ²
$P_{BMD\ BASE}$	Presión de fondo base para embarcaciones a motor en desplazamiento	kN/m ²
$P_{BMP\ BASE}$	Presión de fondo base para embarcaciones a motor en planeo	kN/m ²
$P_{SM\ MIN}$	Presión de costado mínimo	kN/m ²
$P_{DM\ BASE}$	Presión de diseño base para embarcaciones a motor	kN/m ²

Paso 2. Propiedades mínimas de las planchas

Valores mínimos de la masa de refuerzo (fibra de virdio). Se realiza la siguiente tabla.

Posición	W_{MIN} (kg/m ²)	A	k5	k7	k8
Fondo	1,52413	1,5	1	0,03	0,15
Costado/Espejo pp	1,26613	1,5	1	0	0,15

*Los valores son los calculados para la obtención la masa de refuerzo mínima, mostrados como ejemplo.

Donde:

W_{MIN} : es la masa por superficie de m² mínima.

El resto de factores están en la tabla 14 de la normativa.

A continuación se calcula el porcentaje de contenido en fibra, ψ (fibra/fibra + resina) en función de la masa de refuerzo W_{MIN} y dado un espesor t . Se recurre a una regla empírica que dicta que el espesor de un casco de material compuesto es igual a su eslora. Por lo tanto:

$$t\ (mm) = LOA\ (m)$$

$$\psi = \frac{2,56}{3,072 \frac{t}{w} + 1,36}$$

Finalmente se calculan las propiedades mínimas de la futura plancha. Para ello se escoge el mayor valor del contenido en fibra calculado anteriormente.

σ_{uf}	Esfuerzo flector de rotura	N/mm ²	$502\Psi^2 + 107$
σ_{ut}	Esfuerzo de torsión de rotura	N/mm ²	$800\Psi^2 - 80\Psi + 37$
σ_{uc}	Esfuerzo de compresión de rotura	N/mm ²	$150\Psi + 72$
τ_u	Esfuerzo tangencial de rotura	N/mm ²	$80\Psi + 38$
E	Módulo límite elástico	N/mm ²	$38000\Psi - 5000$
σ_d	Esfuerzo de diseño	N/mm ²	$0,5\sigma_{uf}$

Paso 3. Datos necesarios según la plancha.

Se realiza una división preliminar del casco, diferenciando entre fondo, costado, cubierta, superestructura y caseta de cubierta. Consultar la normativa para conocer las diferencias.

De las planchas obtenidas tras la división, ninguna debe tener una dimensión superior a:

$$330 \cdot L_H \text{ (mm)}$$

Los datos necesarios són:

Plancha	X (m)	l (mm)	b (mm)	c (mm)	Z (m)	h (m)	k _{SUP}
Fondo	✓	✓	✓	✓			
Costado	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Cubierta	✓	✓	✓	✓			
Superestructuras y caseta de cubierta	✓	✓	✓	✓			✓

Donde:

X: la posición longitudinal del centro de gravedad de la plancha

l: la dimensión más grande de la plancha

b: la dimensión más corta de la plancha

c: la distancia de concavidad respecto al centro de gravedad

Z: la altura del límite superior desde la superficie del agua para planchas de costado

h: altura del centro de áreas de la plancha desde la superficie del agua para planchas de costado

k_{SUP}: factor de reducción de presión para superestructura y caseta de cubierta. Tabla 4 de la normativa.

Paso 4. Cálculo del escantillonado

Con los datos obtenidos se continúa con la siguiente tabla:

K _L	k _{AR}	k _R	A _D (m ²)	k _Z	k _{SUP}	k _C	k ₂	Presiones desplazamiento	Presiones planeo	Presión final	t (mm)
----------------	-----------------	----------------	----------------------------------	----------------	------------------	----------------	----------------	--------------------------	------------------	---------------	--------

Donde:

K_L : factor de distribución longitudinal

k_{AR} : factor de reducción de la presión de área

k_R : factor componente estructural

A_D : área de diseño

k_z : factor de reducción de la presión de costado

k_c : factor de corrección de curvatura para paneles curvos

k_2 : factor de relación de aspecto del panel para fuerzas flectoras

Presión de desplazamiento: comprende con las diferentes presiones en función de la zona de la plancha, en régimen de desplazamiento. P_{BMD} , P_{SMD} , P_{DM} y $P_{SUP M}$, que son, respectivamente, presión de fondo, presión de costado, presión de cubierta y presión para superestructuras y caseta de cubierta.

Presiones de planeo: comprende con las diferentes presiones en función de la zona de la plancha, en régimen de planeo. P_{BMP} , P_{SMP} , P_{DM} , $P_{SUP M}$, que son respectivamente, presión de fondo, presión de costado, presión de cubierta y presión de superestructura y caseta de cubierta.

Presión final: es la mayor de las presiones de desplazamiento y planeo.

t : espesor mínimo del escantillonado.

Las formulas y condiciones de cada columna de la tabla están detalladas en la normativa.

Para el cálculo de las propiedades y dimensiones mínimas del refuerzo

Paso 1. Datos necesarios

Datos necesarios según el refuerzo

Fondo/Costado	l_u (mm)	s (mm)	c_u (mm)
Longitudinal/Cuadernas	✓	✓	✓

Donde:

l_u : la mayor distancia de un panel entre refuerzos

s : espaciado entre el centro de gravedad de dos refuerzos consecutivos

c_u : distancia del centro de gravedad a la concavidad

Paso 2. Cálculo de las especificaciones mínimas.

Se realiza la siguiente tabla:

k_{SA}	k_{CS}	P	τ_d	σ_d	A_w (cm ²)	S_M (cm ³)	I (cm ⁴)
----------	----------	-----	----------	------------	--------------------------	--------------------------	------------------------

Donde:

k_{SA} : factor de refuerzo tangencial

k_{CS} : factor de curvatura para refuerzos

P : presión de diseño. Es la máxima calculada para el escantillonado según la zona (fondo, costado).

τ_d : esfuerzo tangencial de diseño, en N/mm².

σ_d : esfuerzo de diseño, tanto de compresión como de tensión, en N/mm².

A_w : sección mínima del refuerzo

S_M : momento resistente mínimo del refuerzo.

I : momento de inercia mínimo del refuerzo.

Las formulas y condiciones de cada columna de la tabla están detalladas en la normativa.

Para el cálculo de las especificaciones mínimas requeridas de los mamparos

Paso 1. Datos necesarios

Datos en función de la posición y tipo de mamparo

Mamparo	h_B (m)	l (mm)	b (mm)	c (mm)	k_4	k_5	k_6	t (mm)
Colisión	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Estructural	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Donde:

h_B : altura tenida en cuenta para el cálculo de la presión de diseño. Consultar normativa.

l : dimensión más larga del panel.

b : dimensión más corta del panel.

c : distancia de concavidad respecto centro de gravedad.

k_4 : factor de localización de piel mínima en sándwich.

k_5 : factor de tipo de piel mínima para sándwich.

t : espesor de prueba. Para poder determinar las especificaciones mínimas de los mamparos es necesario introducir un espesor preliminar de prueba. Por ejemplo 0,5 mm.

Paso 2. Propiedades mecánicas preliminares.

A partir de un espesor preliminar, considerado y de los datos anteriores, se calculan las propiedades mecánicas correspondientes.

Para ello se calculan la masa de refuerzo (de fibra) por superficie de m^2 .

w_{os} : masa de fibra por metro cuadrado de la piel exterior en kg/m^2 . Ecuación 44 de la normativa.

w_{is} : masa de fibra por metro cuadrado de la piel interior en kg/m^2 . Ecuación 45 de la normativa.

Una vez calculado el contenido en fibra por superficie m^2 , se utilizan las ecuaciones del paso 2 del cálculo del escantillonado para calcular las propiedades mecánicas de las pieles, interior y exterior.

Paso 3. Cálculo de las especificaciones mínimas

Se realiza la siguiente tabla. El procedimiento calcula los mamparos como si fueran planchas del casco.

k_C	k_2	k_3	σ_{dto} (N/mm ²)	σ_{dci} (N/mm ²)	E_{io} (N/mm ²)	P (kN/m ²)	SMo	SMi	I
-------	-------	-------	-------------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------	--------------------------	-------	-------	-----

Donde:

k_C : factor de curvatura para paneles curvos

k_2 : factor de relación de aspecto de paneles para fuerzas flectoras

k_3 : factor de relación de aspecto de paneles para esfuerzos flectores

σ_{dto} : esfuerzo de tensión de diseño para la piel exterior del sándwich.

σ_{dci} : esfuerzo de compresión de diseño para la piel interior del sándwich.

E_{io} : módulo de elasticidad medio, entre la piel interior y exterior.

P : presión de diseño

SMo : módulo resistente mínimo de la piel exterior para una plancha sándwich con 1 cm de espesor. En cm^3/cm .

SMi : módulo resistente mínimo de la piel interior para una plancha sándwich con 1 cm de espesor. En cm^3/cm .

I : momento de inercia mínimo para una plancha sándwich con 1 cm de espesor. En cm^4/cm .

Las formulas y condiciones de cada columna de la tabla están detalladas en la normativa.

Resultados

A continuación se muestran los resultados obtenidos por elemento, así como la forma de confeccionar la tabla descrita.

Escantillonado del casco:

Donde se muestran los resultados de las diferentes presiones según la plancha y zona. Finalmente se escoge la presión de mayor valor para calcular el espesor mínimo requerido.

	Nº	Modo desplazamiento (kN/m ²)				Modo planeo (kN/m ²)				P _f	t (mm)
		P _{BMD}	P _{SMD}	P _{DM}	P _{SUP M}	P _{BMP}	P _{SMP}	P _{DM}	P _{SUP M}		
Fondo	1	7,00	-	-	-	9,14	-	-	-	9,14	5,88
	2	7,27	-	-	-	11,75	-	-	-	11,75	6,54
	3	9,19	-	-	-	14,66	-	-	-	14,66	6,94
	4	11,35	-	-	-	17,33	-	-	-	17,33	6,15
	5	16,58	-	-	-	23,97	-	-	-	23,97	3,81
	6	25,87	-	-	-	38,47	-	-	-	38,47	1,95
Costado	1	-	4,24	-	-	-	5,14	-	-	5,14	3,78
	2	-	5,48	-	-	-	6,63	-	-	6,63	4,37
	3	-	6,73	-	-	-	8,12	-	-	8,12	4,79
	4	-	7,25	-	-	-	8,81	-	-	8,81	5,17
	5	-	8,39	-	-	-	8,84	-	-	8,84	4,21
	6	-	9,37	-	-	-	8,87	-	-	9,37	3,47
Cubierta	1	-	-	5	-	-	-	5	-	5,00	4,57
	2	-	-	5	-	-	-	5	-	5,00	4,52
	3	-	-	5	-	-	-	5	-	5,00	4,35
	4	-	-	5	-	-	-	5	-	5,00	3,56
	5	-	-	6,33	-	-	-	5	-	6,33	2,17
	6	-	-	9,80	-	-	-	7,29	-	9,80	1,07

Anexo E: Cálculo del desplazamiento y posición del centro de gravedad

Desplazamiento

Para la determinación del desplazamiento, es necesario los datos de masa de refuerzo por superficie de m^2 , w obtenidos durante el cálculo del escantillonado.

Una vez determinado w , según la zona del barco, mediante el programa Rhinoceros se determina el área (A) de cada plancha considerada. El peso P en kg se obtiene:

$$P_i = w_i \cdot A_i$$

Para el calculo del peso de los elementos constituidos no solo por fibra de vidrio sino también con PVC, como en el caso de los refuerzos y mamparos, la densidad de PVC tenida en cuenta es:

$$\rho_{PVC} = 250 \text{ kg/m}^3$$

El tipo de PVC corresponde al PVC rígido tipo PVC I, extraído de la normativa sobre cálculo del escantillonado 12215-5. en el cual se ha seleccionado la densidad más grande mostrada en sus tablas de propiedades de PVC.

Table D.2 — Calculated values from Table D.1 for typical core densities

End grain balsa					Rigid PVC I					Rigid PVC II				
ρ_c kg/m ³	τ_u	G_c	σ_{uc}	E_{∞}	ρ_c kg/m ³	τ_u	G_c	σ_{uc}	E_{∞}	ρ_c kg/m ³	τ_u	G_c	σ_{uc}	E_{∞}
N/mm ²					N/mm ²					N/mm ²				
90	1,26	77	4,2	1 413	50	0,44	14	0,47	33	33	0,27	10,2	0,14	22
100	1,44	85	5,2	1 720	75	0,76	22	0,86	59	43	0,44	13,5	0,39	34
120	1,80	103	7,2	2 334	100	1,12	31	1,32	90	54	0,63	17,1	0,66	47
150	2,33	129	10,3	3 255	130	1,59	41	1,95	132	72	0,93	23,1	1,11	68
180	2,86	155	13,4	4 176	150	1,92	48	2,41	162	90	1,24	29,0	1,56	90
200	3,22	172	15,4	4 790	200	2,82	67	3,70	246	120	1,75	38,9	2,31	126
220	3,58	190	17,4	5 404	250	3,79	87	5,15	339	145	2,18	47,2	2,94	156
221	3,59	190	17,5	5 435	250	3,79	87	5,15	339	180	2,77	58,7	3,81	198
Linear PVC					SAN									
ρ_c kg/m ³	τ_u	G_c	σ_{uc}	E_{∞}	ρ_c kg/m ³	τ_u	G_c	σ_{uc}	E_{∞}					
N/mm ²					N/mm ²									
60	0,51	12	0,48	31	60	0,34	8	0,45	31					
70	0,65	15	0,60	40	70	0,48	12	0,58	41					
80	0,79	18	0,72	48	80	0,62	17	0,71	51					
100	1,07	24	0,96	65	100	0,89	26	1,01	76					
140	1,63	35	1,44	99	130	1,26	40	1,54	120					
					150	1,49	49	1,93	154					
					200	1,99	72	3,05	255					

Posición del centro de gravedad

La determinación de la posición del centro de gravedad se ha calculado mediante las siguientes expresiones.

Donde:

LCG: Distancia longitudinal del centro de gravedad respecto al origen.

YG: Distancia transversal del centro de gravedad respecto plano de crujía.

KG: Distancia vertical del centro de gravedad respecto respecto al origen.

x: Distancia longitudinal del centro de gravedad de la plancha con respecto al origen.

y: Distancia transversal del centro de gravedad de la plancha con respecto al origen.

z: Distancia vertical del centro de gravedad de la plancha con respecto al origen.

A: Área de la plancha
m: Masa de la plancha

- Para la distancia longitudinal a lo largo de la eslora

$$LCG = \frac{\sum A_i x_i}{\sum A_i}$$

$$LCG = \frac{\sum P_i x_i}{\sum m_i}$$

- Para la distancia transversal perpendicular al plano de crujía.

$$YG = \frac{\sum A_i y_i}{\sum A_i}$$

$$YG = \frac{\sum P_i y_i}{\sum m_i}$$

- Para distancias verticales

$$KG = \frac{\sum A_i z_i}{\sum A_i}$$

$$KG = \frac{\sum P_i z_i}{\sum m_i}$$

- Para el cálculo de la masa de las diferentes láminas:

$$m_{lamina} = Aw$$

Donde:

w: es la masa de fibra por superficie, kg/m².

- Para el cálculo de la masa del PVC:

$$m_{PVC} = \rho V$$

Donde:

P: es la densidad del PVC

Resultados

La distribución de las planchas se encuentra en el *Anexo A*. Todos los datos sobre el posicionamiento espacial del centro de gravedad se han obtenido mediante Rhinoceros 5, además de las áreas de cada elemento.

Estructura:

Los elementos estructurales se han dividido por el plano de crujía y los valores individuales de cada elemento corresponden a una de las mitades, mientras que en los resultados totales ya se ha tenido en cuenta la mitad simétrica restante.

Casco

Planchas	Nº	Área (m2)	P (kg)	LCG (m)	YG (m)	KG (m)
Fondo	1	0,8174	3,36	0,501	0	0,167
	2	0,8224	3,38	1,499	0	0,141
	3	0,7768	3,19	2,49	0	0,141
	4	0,594	2,44	3,462	0	0,172

	5	0,1932	0,79	4,257	0	0,218
	6	0,0453	0,19	4,723	0	0,262
	Total	6,50	26,68	2,05	0,00	0,16
Costado	1	0,7701	3,16	0,525	0	0,658
	2	0,8166	3,35	1,5	0	0,685
	3	0,8186	3,36	2,501	0	0,691
	4	0,8501	3,49	3,505	0	0,698
	5	0,5324	2,19	4,302	0	0,711
	6	0,3335	1,37	4,784	0	0,727
	Total	8,24	33,84	2,56	0,00	0,69
TOTAL	casco	14,74	60,51	2,34	0,00	0,46

Interior

Planchas	Nº	Área (m2)	P (kg)	LCG (m)	YG (m)	KG (m)	
Cubierta	1	0,4082	1,38	0,729	0	0,421	
	2	0,7381	2,49	1,497	0	0,428	
	3	0,6862	2,32	2,489	0	0,437	
	4	0,4972	1,68	3,451	0	0,445	
	5	0,0802	0,27	4,135	0	0,451	
	6	0,0434	0,15	4,414	0	0,454	
	7	0,2797	0,95	0,239	-0,511	0,652	
	8	0,6208	2,10	0,24	0	0,417	
	9	0,0941	0,32	0,239	-0,161	0,535	
	Total	6,90	23,31	1,62	-0,05	0,45	
Regala	1	0,0443	0,15	0,157	0	0,91	
	2	0,0678	0,23	0,659	0	1,07	
	3	0,1002	0,34	1,5	0	1,078	
	4	0,0993	0,34	2,499	0	1,087	
	5	0,1019	0,34	3,5	0	1,096	
	6	0,0577	0,20	4,29	0	1,103	
	7	0,0580	0,20	4,72	0	1,107	
	Total	1,06	3,58	2,51	0,00	1,07	
Forro Interior/costado	1	0,240	0,81	0,253	0	0,699	
	2	0,368	1,24	0,73	0	0,743	
	3	1,348	4,56	1,998	0	0,755	
	4	0,693	2,34	3,505	0	0,77	
	5	0,424	1,43	4,292	0	0,78	
	Total	6,15	20,77	2,37	0,00	0,76	
Asientos	Capitan Br	0,2250	0,43	0,71	0,167	0,646	Planchas verticales
	Capitan Pr	0,2994	0,58	0,96	0,501	0,657	
	1 Er, Pp	0,1959	0,38	1,26	0,607	0,663	
	1 Er	0,3335	0,64	1,63	0,369	0,654	
	2 Er	0,4536	0,88	2,501	0,296	0,662	
	3 Pr	0,3169	0,61	3,143	0	0,667	

	1 Br	0,4011	0,77	1,555	-0,373	0,654	Planchas horizontales
	1 Br, Pp	0,1954	0,38	1,11	-0,613	0,662	
	2 Br	0,4536	0,88	2,501	-0,296	0,662	
	Capitan	0,3706	1,25	0,709	0,538	0,871	
	1 Er	0,3700	1,25	1,63	0,619	0,879	
	2 Er	0,5000	1,69	2,5	0,546	0,887	
	Solarium	1,4520	4,91	3,663	0	0,897	
	2 Br	0,5000	1,69	2,5	-0,546	0,887	
	1 Br	0,4450	1,50	1,555	-0,617	0,883	
	TOTAL	6,51	17,84	2,26	0,05	0,79	
Consola	Total	0,57	1,10	1,32	0,46	0,89	
TOTAL	Interior	21,18	66,60	2,06	0,04	0,67	

Refuerzos

Elemento	n	Peso (kg)	LCG	YG	KG
Long. Quilla	1	4,73	2,294	0	0,107
Long. Pantoque	2	7,28	2,297	0	0,397
Long. Regala	2	6,88	2,433	0	1,021
Semicuaderna 1	2	2,48	1	0	0,446
Semicuaderna 2	2	2,45	1,998	0	0,443
Semicuaderna 3	2	2,29	2,994	0	0,473
Semicuaderna 4	2	1,84	3,987	0	0,56
Mamparo popa casco	1	9,61	0,02	0	0,431
Mamparo popa bañera	1	9,33	0,44	0,077	0,604
Mamparo maestra	1	2,93	2,468	0	0,277
Mamparo de colisión	1	2,40	4,59	0	0,712
Total		52,22	1,69	0,01	0,52

Propulsión:

Motor Yamaha F15 - 11,00 kW

Elemento	n	P (kg)	LCG (m)	YG (m)	KG (m)
Motor FB	1	60	-0,361	0	0,854
Batería	1	33	0,556	0,332	0,533
Depósito	1	20,8	0,801	0,407	0,564
TOTAL		113,8	0,117	0,171	0,708

Motor Yamaha F40F - 29,4 kW

Elemento	n	P (kg)	LCG (m)	YG (m)	KG (m)
Motor FB	1	94	-0,361	0	0,908
Batería	1	33	0,556	0,332	0,533
Depósito	1	20,8	0,801	0,407	0,564
TOTAL		147,8	0,009	0,171	1,008

Equipo

El equipamiento necesario varía según la zona de navegación. En la tabla se muestra el material obligatorio en función de la zona de navegación 6 o zona de navegación 4, Z6 y Z4 respectivamente.

Elemento	n	P (kg)	LCG(m)	YG (m)	KG (m)	Z6	Z4
Chalecos salvavidas	6	3,1	2,5	-0,546	0,662	✓	✓
Aros salvavidas	1	2,5	0,351	0,505	0,797		✓
Señal. Cohetes con luz roja y paracaidas	6	0,45	1,555	-0,623	0,658		✓
Señales. Bengalas de mano	6	0,125	1,555	-0,623	0,658	✓	✓
Señales. Fumígenas flotantes	1	0,7	1,555	-0,623	0,658		✓
Línea de fondeo de 30 m	1	30	4,74	0	0,731	✓	✓
Ancla	1	4	4,74	0	0,731	✓	✓
Compás	1	0,055	0,71	0,798	0,697		✓
Prismáticos	1	0,1	0,71	0,798	0,697		✓
Bocina	1	0,225	1,555	-0,623	0,658	✓	✓
Pabellon nacional	1	0,05	0,15	1	1	✓	✓
Linterna estanca	1	0,428	0,71	0,798	0,697		✓
Espejo de señales	1	0,055	1,555	-0,623	0,658	✓	✓
Reflector radar	1	0,25	0,44	0	0,7		✓
Estachas de amarre	2	4	1,555	-0,623	0,658	✓	✓
Bichero	1	0,41	0,46	0,167	0,919	✓	✓
Botiquin tipo balsa de salvamento	1	3	1,555	-0,623	0,658		✓
Balde	1	0,4	1,555	-0,623	0,658	✓	✓
Bomba	1	0,2	0	0	0		✓
Defensa 1	1	1,5	1,67	1,011	0,83	✓	✓
Defensa 2	1	1,5	1,67	-1,011	0,83	✓	✓
Defensa 3	1	1,5	3,33	0,789	0,844	✓	✓
Defensa 4	1	1,5	3,33	-0,789	0,844	✓	✓
Extintor	1	5	1,214	-0,454	0,555		✓
TOTAL		83,423	2,463	-0,092	0,523		

El resultado final del quipamiento corresponde al de la zona de navegación 4.

Anexo F: Cálculo estructural

En este anexo se detalla el procedimiento de cálculo para el análisis del módulo resistente transversal de la cuaderna maestra.

Paso 1. Determinación de los datos necesarios

Se realiza la siguiente tabla

1	2	3	4	5
Elemento	n	A (cm ²)	Z (cm)	I ₀ (cm ⁴)

Donde:

En la columna 1 se define el elemento transversal. Ej. Plancha de fondo o costado, refuerzo, etc.
En la columna 2 se definen el número de elementos, puesto que para aligerar la tabla se trabaja con la mitad de la sección. Y por lo tanto puede haber el simétrico del elemento respecto el eje de crujía.

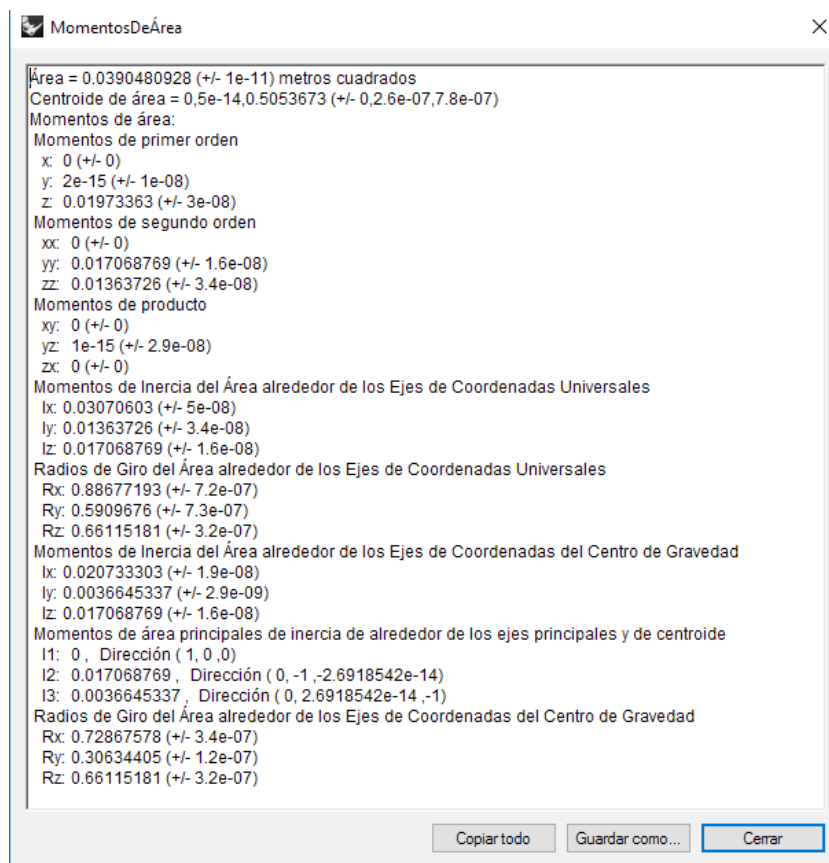
A: área del elemento.

Z: es la altura del centro de gravedad de la sección de elemento considerado. Respecto a un punto de referencia común en todos los elementos.

I₀: momento de inercia del elemento respecto su propia geometría.

Mediante programas de diseño como AutoCad o Rhinoceros se puede hallar el área, el momento de inercia entre otras propiedades geométricas de cualquier figura. Para el presente proyecto se ha utilizado el programa de diseño 3D, Rhinoceros 5.

Tras dibujar la figura geométrica, mediante los comandos, *Análisis > Propiedades físicas > Momentos de área*. Se obtiene un cuadro con la siguiente información.



Paso 2. Cálculo altura del eje neutro de la sección respecto a un eje de referencia.

$$h_N = \frac{\sum A_i z_i}{\sum A_i}$$

Paso 3. Cálculo del momento de inercia de la sección.

Se aplica el teorema de Steiner.

$$I = \sum I_{oi} + \sum [A_i \cdot (z_i - h_N)^2]$$

Paso 4. Cálculo del módulo resistente, W.

Se distinguen el módulo resistente del trancañil y el del fondo, correspondiente al módulo resistente existente por encima y por debajo del eje neutro respectivamente.

- Módulo resistente del trancañil

$$W_t = \frac{I}{(D - h_N)}$$

Donde:

D: es el puntal

- Módulo resistente del fondo

$$W_f = \frac{I}{h_N}$$

El módulo resistente de menor valor dictará la resistencia de la sección transversal puesto que es la zona geoméricamente más débil.

Paso 5. Cálculo de los momentos de arrufo y quebranto.

Para este paso se ha recurrido a la normativa de la sociedad de clasificación DNV GL (*Det Norske Veritas – Germanischer Lloyd*) relativo a las embarcaciones que denomina, Yachts (yates), cuyas competencias abarcan las atribuciones del presente proyecto.

Datos necesarios:

LWL	Eslora en la flotación	m
Bw	Manga máxima de flotación	m
T	Calado	m
v	Velocidad	kn
Δ	Desplazamiento	kg

Mediante las siguientes formulas:

- Coeficiente de bloque:

$$C_B = \frac{\Delta}{1025 \cdot LWL \cdot Bw}$$

- Coeficiente de velocidad:

$$C_V = \sqrt[3]{\frac{v}{1,6 \cdot \sqrt{LWL}}}$$

- Coeficiente de ola

$$C_o = \left(\frac{LWL}{25} + 4,1 \right) \cdot 0,75 \text{ para } LOA < 90 \text{ m}$$

Donde el valor 0,75 corresponde al rango de coeficiente de servicio, C_{RW} que es el valor que se atribuye en función del área de navegación. El homónimo a la zona 4 de navegación contemplada por DNV-GL es R3, navegación a 20 millas náuticas de la costa.

- Factor de distribución, k_M .

Rango	Quebranto	Arrufo
$0 \leq x/L \leq 0,4$	$2,25 \cdot \sqrt{C_B} \cdot x/L$	$-0,02 - 2,45 \cdot x/L$
$0,4 \leq x/L \leq 0,6$	$0,95 \cdot \sqrt{C_B}$	-1
$0,6 \leq x/L \leq 1$	$(0,9 - 2,25 \left(\frac{x}{L} - 0,6\right)) \cdot \sqrt{C_B}$	$-1 + 2,375 \left(\frac{x}{L} - 0,6\right)$

Se calculan los siguientes momentos.

- Momento flector vertical por oleaje, en situación de navegación.

$$M_{WV} = 0,24 \cdot 10^{-3} \cdot LWL^2 \cdot BW \cdot \sqrt{C_B} \cdot C_o \cdot C_V \cdot k_M [MNm]$$

- Momento flector horizontal por oleaje

$$Q_{WH \text{ máx}} = 1,25 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{LWL \cdot T} \cdot BW \cdot C_o$$

$$M_{WH} = 0,32 \cdot LWL \cdot Q_{WH \text{ máx}} \cdot k_M [MNm]$$

NOTA: la x es un parámetro que abarca la eslora de flotación, LWL desde el punto 0 hasta el final del extremo opuesto.

Paso 6. Comparación

Finalmente se compara el esfuerzo máximo que puede soportar una plancha de fibra de vidrio dado un espesor concreto con el punto donde mayor esfuerzo sufre el barco.

Se divide el momento flector máximo calculado en el paso 6, independientemente de si es arrufo o quebranto entre el menor momento resistente calculado en el paso 4.

$$\sigma = \frac{M}{W}$$

Las propiedades mecánicas de la fibra de vidrio a utilizar son las calculadas en el anexo D.

Dado un límite elástico E , de la fibra de vidrio, este tiene que ser mayor al esfuerzo obtenido por la acción del arrufo o el quebranto.

Es prudente aplicar un factor de alivio al límite elástico de la fibra de vidrio como medio de seguridad. Por ejemplo un factor de alivio del 25%.

$$E_{0,75} = 0,75E$$

Resultados

Elemento	Z (m)	A (m ²)	I ₀ (m ⁴)	A·z	A·z ²
Sección	0,505	0,03905	0,003665	0,01972	0,009959
Long. Quilla	0,068	0,00123	0,00001	8,36E-05	5,69E-06
Long. Pantoque	0,393	0,00168	0,00001	0,00066	0,000259
Long. Regala	1,015	0,00168	0,00001	0,001705	0,001731
Total	0,04364	0,003693	0,022169	0,011955	

Distancia eje neutro / eje inicial	0,508	m
Momento inercia respecto eje neutro	0,004385	m ⁴
Módulo resistente trancanil	0,007653	m ³
Módulo resistente fondo	0,008632	m ³
Módulo resistente total	0,007653	m ³

Datos de la fibra de vidrio		
E (módulo de elasticidad)*	9774,11	N/mm ²
E con factor alivio 25%	7330,58	N/mm ²
*Valor extraído del apartado de escantillonado		

DNVGL-RU-yacht pt3ch3		M _{WV} (Nmm)		M _{WH} (Nmm)	
	Plancha	Quebranto	Arrufo	Quebranto	Arrufo
Fondo	1	4594496	-7520239	1513320	-2476992
	2	13746806	-21385743	4527879	-7043967
	3	19108580	-27985056	6293923	-9217628
	4	20592054	-21237595	6782545	-6995171
	5	13301386	-10530547	4381168	-3468518
	6	9027863	-4254466	2973569	-1401322
Costado	1	4814592	-7853678	1585815	-2586819
	2	13755977	-21399636	4530900	-7048544
	3	19108580	-27985056	6293923	-9217628
	4	20197716	-20658472	6652659	-6804421
	5	12888707	-9924487	4245241	-3268896
	6	8468453	-3432919	2789312	-1130724
Cubierta	1	6685405	-10687910	2202017	-3520349
	2	13728465	-21357956	4521838	-7034815
	3	19108580	-27985056	6293923	-9217628
	4	20692931	-21385743	6815771	-7043967
	5	14420206	-12173641	4749681	-4009715
	6	11861594	-8416073	3906934	-2772059
Valor máximo		20692931,0	-27985055,5	6815771,3	-9217627,9

Anexo G: Cálculo de potencia

En este anexo se detallan los cálculos para hallar la potencia necesaria según la velocidad mediante el método de Blount & Fox y Savitsky.

Para ello primero se calcula la resistencia mediante el método de Savitsky. Por lo que es necesario, primero determinar los siguientes datos:

m_{LDC}	Desplazamiento máximo	Kg
LCG	Distancia longitudinal de CG	m
VCG	Distancia vertical de CG	m
b*	Manga entre pantoques máximo	m
ε	Grado de inclinación entre eje de la hélice y la línea base	grados
β*	Ángulo de astilla muerta a la mitad de la eslora del pantoque	grados
f	Brazo entre el eje de la hélice y el CG	m
v	velocidad	kn
g	gravedad	m/s ²
ρ	densidad agua salada	kg/m ³
ν	Viscosidad cinemática del agua a 20°C	m ² /s
τ₁, τ₂	Trimado	grados

*Estos parámetros difieren del método de Savitsky original, pues son una modificación introducida por el método de Blount & Fox, donde se escogen las distancias que mejor resultados daban durante las pruebas y ensayos de cara a la obtención de la resistencia al avance.

Paso 1. Cálculo del coeficiente de velocidad C_v.

$$C_v = \frac{v}{\sqrt{g \cdot b}}$$

Paso 2. Cálculo del coeficiente de sustentación equivalente para una placa plana, C_{Lo flat}.

$$C_{Lo \text{ flat}} = \frac{m \cdot g}{0,5 \cdot \rho \cdot v^2 \cdot b^2}$$

Paso 3. Cálculo del coeficiente de sustentación para casco con ángulo de astilla muerta β, C_{Lo} mediante iteración.

Hay que hallar el valor de C_{Lo} mediante iteración, dada la condición:

$$C_{Lo \text{ flat}} = C_{L\beta}$$

Donde:

$$C_{L\beta} = C_{L0} - 0,0065 \cdot \beta \cdot C_{L0}^{0,6}$$

Paso 4. Asumir un trimado inicial, por ejemplo $\tau_1 = 4^\circ$.

Paso 5. Cálculo de la relación eslora de flotación-manga, λ .

Hay que hallar el valor de λ mediante iteración sabiendo que C_{L0} tiene el valor calculado en el paso 3:

$$C_{L0}(\lambda) = \tau^{1,1} \cdot (0,012 \cdot \lambda^{0,5} + 0,005 \cdot \frac{\lambda^{2,5}}{C_V^2})$$

Paso 6. Cálculo de la longitud de LWL media, L_m .

$$L_m(\lambda) = \lambda \cdot b$$

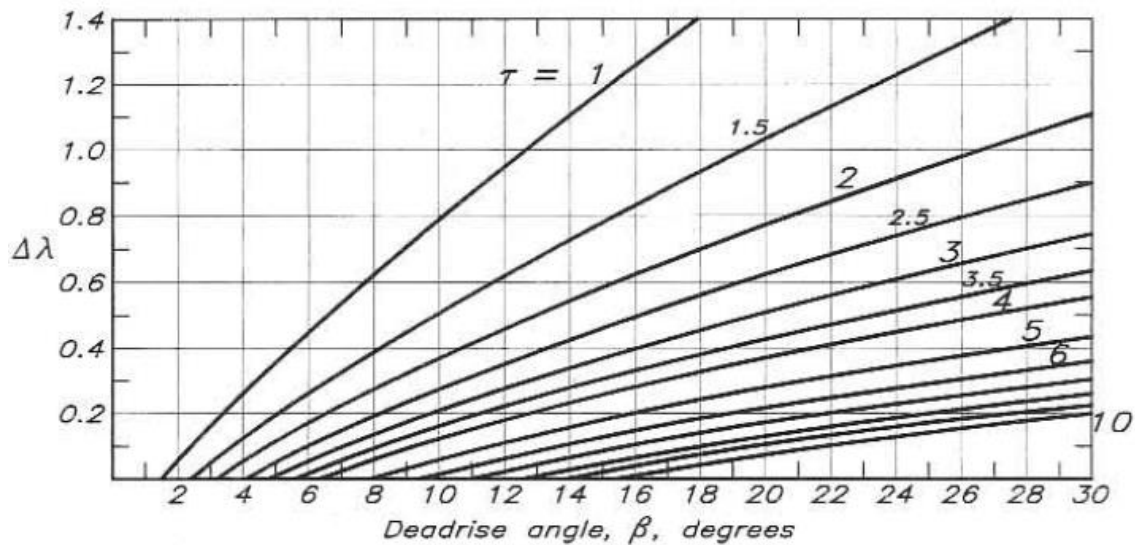
Paso 7. Cálculo del coeficiente de fricción C_F de la ITTC del 1957.

$$Rn = \frac{v \cdot L_m(\lambda)}{0,075}$$

$$C_F = \frac{0,075}{(\log(Rn) - 2)^2}$$

Paso 8. Cálculo del incremento de λ debido al “spray”, $\Delta\lambda$ y cálculo de Rf.

$\Delta\lambda$ se obtiene mediante la siguiente gráfica, en función del ángulo de trimado y el ángulo de astilla muerta:



Para así hallar la resistencia por fricción, R_f (N):

$$R_f(\lambda) = C_F \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot v^2 \cdot (\lambda + \Delta\lambda) \cdot \frac{b^2}{\cos(\beta)}$$

Paso 9. Cálculo del brazo de la resistencia por fricción, ff relativo al centro de gravedad (m).

$$ff = VCG - \frac{b}{4} \cdot \tan(\beta)$$

Paso 10. Cálculo de la distancia entre el punto de presión y el espejo de popa, L_{cp} .

L_{cp} es la distancia entre el centro de presiones y el borde de salida (en popa) del flujo.

$$\frac{L_{cp}}{L_w} = 0,75 - \frac{1}{\frac{5,21 \cdot C_V^2}{\lambda^2} + 2,39}$$

Paso 11. Cálculo del brazo de la fuerza de presión, e.

$$e = LCG - L_{cp}$$

Paso 12. Cálculo del momento de cabeceo M.

Se suman los momentos que crean las fuerzas tenidas en cuenta que afectan al ángulo de trimado.

- El momento creado por el desplazamiento del barco, Mh:

$$M_h = g \cdot m \cdot \left[\frac{e \cdot \cos(\tau + \varepsilon)}{\cos(\varepsilon)} - f \cdot \frac{\sin(\tau)}{\cos(\varepsilon)} \right]$$

- El momento creado por la fuerza de fricción, Mf:

$$M_f = R_f \left[ff - e \cdot tg(\varepsilon) - \frac{f}{\cos(\varepsilon)} \right]$$

$$M = M_h + M_f$$

Paso 13. τ_2 .

Volver a calcular desde el paso 4 con un ángulo de trimado diferente, τ_2 .

Si el momento resultante del paso 12 es positivo, utilizar un ángulo de trimado menor y viceversa

Paso 14. Cálculo del ángulo de trimado para un momento nulo.

Una vez obtenido los momentos para dos casos de trimado diferente, se obtienen los elementos necesarios para realizar una interpolación lineal y así hallar el trimado correspondiente al de la embarcación en equilibrio, cuando el momento resultante es 0.

$$\tau_0 = \tau_1 - \frac{M_1 \cdot (\tau_2 - \tau_1)}{M_2 - M_1}$$

Paso 15. Cálculo de la resistencia por fricción para el ángulo de trimado obtenido en el paso 14.

$$R_{f0} = R_{f1} + \frac{R_{f2} - R_{f1}}{\tau_2 - \tau_1} \cdot (\tau_0 - \tau_1)$$

Paso 16. Cálculo de la resistencia del casco.

$$R_H = (g \cdot m \cdot \sin(\tau_0) + R_{f0}) \cdot \frac{\cos(\tau_0 + \varepsilon)}{\cos(\varepsilon)}$$

Paso 17. Cálculo de la resistencia de apéndices.

Aproximación del método de Blount & Fox.

$$R_{app} = R_H \cdot \left(\frac{1}{\eta_A} - 1 \right)$$

Donde:

η_A : Factor de la resistencia de apéndices:

$$\eta_A = \frac{1}{(0,005 \cdot Fn_v^2 + 1,05)}$$

Paso 18. Cálculo de la resistencia total.

$$R_T = (R_H + R_{app})$$

Paso 19. Cálculo del factor de corrección de Blount & Fox, M (no confundir con un momento).

$$M = 0,98 + 2 \cdot \left(\frac{LCG}{b} \right)^{1,45} \cdot e^{-2 \cdot (Fn_v - 0,85)} - 3 \cdot \left(\frac{LCG}{b} \right) \cdot e^{-3 \cdot (Fn_v - 0,85)}$$

Aplicando el factor, queda:

$$R = R_T \cdot M$$

Mediante un breve análisis al factor de corrección se puede concluir que para cualquier valor de $Fn_v \leq 0,85$, resulta en un valor negativo. Por lo tanto, los valores obtenidos solo tienen sentido cuando $Fn_v \geq 0,85$

Paso 20. Cálculo de la potencia efectiva.

Finalmente, multiplicando la resistencia obtenido en el paso 19 por la velocidad correspondiente se obtiene la potencia.

$$P_E = v \cdot R$$

Anexo H: Cálculo de la estabilidad

Para verificar el cumplimiento de la norma UNE-EN ISO 12217-3 especificada en el Anexo B, se recurre al uso de cálculos teóricos. Estos consisten en colocar un peso teórico justo encima del centro de gravedad del barco y luego trasladarlo hasta el punto deseado. Dicho peso teórico puede representar o bien un único peso o bien la suma de diferentes pesos colocados en diferentes puntos a lo largo de la cubierta, resultando en el mismo grado de escora y cabeceo que con el peso teórico.

A continuación se detalla el procedimiento seguido para el cálculo de la estabilidad.

Para la generalidad de los casos, se necesitan los siguientes datos:

Posición del centro de gravedad en rosca (m)	LCG ₀ , YG ₀ y KG ₀
Puntal (m)	D
Desplazamiento en rosca (kg)	Δ

Para cada caso particular, es necesario conocer los siguientes datos

- LWL: Eslora de flotación.
- Cm: Calado medio.
- Vc: Volumen de carena.
- Aw: Área de la sección de carena en LWL.
- X_F: Distancia longitudinal del centro de flotación en LWL respecto al origen.
- BG: Distancia vertical entre el centro de carena, B y el centro de gravedad del barco, G.

Paso 1. Cálculo del momento de inercia transversal y longitudinal.

Donde:

- s: es la longitud de las divisiones

$$s = \frac{LWL}{n}$$

- n: es el número de divisiones de LWL
- b: son las diferentes semimangas correspondientes a cada división n_i en la sección de LWL
- S.M.: es el factor multiplicador de Simpson.

Se realizan las siguientes tablas para calcular la inercia.

- Momento de inercia transversal

Nº de ordenada	bi	S.Mi	Producto
0	b ₀ ³	1	1·b ₀ ³
1	b ₁ ³	4	4·b ₁ ³
2	b ₂ ³	2	2·b ₂ ³
...			
n-1	b _{n-1} ³	1	1·b _{n-1} ³

$$\text{Sumatorio de los productos} = \Sigma(SMi \cdot bi^3)$$

$$A = \frac{s \cdot \Sigma(SMi \cdot bi^3)}{3}$$

Inercia transversal:

$$I_T = \frac{2}{3} A$$

- Momento de inercia longitudinal

Nº de ordenada	bi	xi* (ordenada)	S.Mi	Producto
0	b ₀	x ₀	1	1 · b ₀ · x ₀ ²
1	b ₁	x ₁	4	4 · b ₁ · x ₁ ²
2	b ₂	x ₂	2	2 · b ₂ · x ₂ ²
...				
n-1	b _{n-1}	x _{n-1}	1	1 · b _{n-1} · x _{n-1} ²

*x: es la distancia longitudinal de cada semimanga, bi.

$$\text{Suma del producto} = \Sigma(bi \cdot SMi \cdot x_i^2)$$

Momento de inercia de la sección en LWL

$$I_{LFP} = \frac{2 \cdot \Sigma(bi \cdot SMi \cdot x_i^2) \cdot s}{3}$$

Momento de inercia en el centro de flotación. Steiner.

$$I_L = I_{LFP} - AW \cdot X_F^2$$

Paso 2. Cálculo del radio metacéntrico

Una fórmula fundamental sobre la estabilidad dicta que el radio metacéntrico es igual a la inercia dividida entre el volumen de carena.

- Radio metacéntrico transversal

$$BM_T = \frac{I_T}{Vc}$$

- Radio metacéntrico longitudinal

$$BM_L = \frac{I_L}{Vc}$$

*BM: es la distancia vertical entre el centro de carena y el metacentro

Paso 3. Cálculo de la altura metacéntrica

Es la diferencia entre el radio metacéntrico y BG

- Altura metacéntrica transversal

$$GM_T = BM_T - BG$$

- Altura metacéntrica longitudinal

$$GM_L = BM_L - BG$$

*BG se puede hallar mediante el programa de modelaje 3D, Rhinoceros 5.

Paso 4. Cálculo de la distancia de traslado de peso/s

Este paso sirve para calcular el peso teórico que representa el conjunto de pesos que se colocan en cubierta. Y su distancia respecto el centro de gravedad.

Posición final del centro de gravedad:

$$LCG_f = \frac{\sum(P_i \cdot x_i) + \Delta \cdot LCG_0}{\sum P_i + \Delta}$$

$$YG_f = \frac{\sum(P_i \cdot y_i) + \Delta \cdot YG_0}{\sum P_i + \Delta}$$

$$KG_f = \frac{\sum(P_i \cdot z_i) + \Delta \cdot KG_0}{\sum P_i + \Delta}$$

Se calcula el peso teórico, suma de los pesos añadidos y el peso final, que es el peso teórico más el desplazamiento en rosca:

$$P' = \sum P_i$$

$$P_f = \sum P_i + \Delta$$

Finalmente se calcula la distancia de traslado del peso teórico con respecto al centro de gravedad final.

$$x' = \frac{LCG_f \cdot P_f - \Delta \cdot LCG_0}{P'}$$

$$y' = \frac{YG_f \cdot P_f - \Delta \cdot YG_0}{P'}$$

$$z' = \frac{KG_f \cdot P_f - \Delta \cdot KG_0}{P'}$$

Paso 5. Cálculo de los grados de escora y cabeceo.

- Escora (grados):

$$\alpha = \operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{YG_f}{GM_T}\right)$$

- Cabeceo (grados):

$$\theta = \frac{180 \cdot P' \cdot (x' - LCG_f)}{\pi \cdot P_f \cdot GM_L}$$

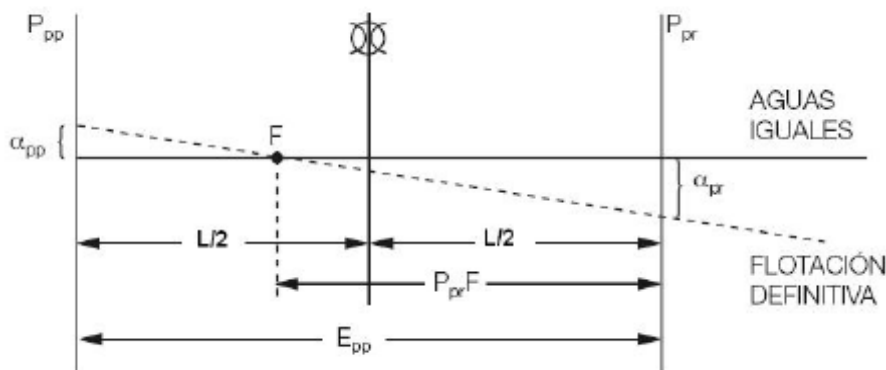
Paso 6. Cálculo del calado y el francobordo

Cálculo del calado:

Donde:

a: es la alteración, que es la variación entre el asiento (A) final e inicial.

Considerando que inicialmente el asiento es nulo, puesto que el peso al aplicarse justo encima del centro de gravedad no se crea ni escora ni cabeceo. Se distingue la alteración de popa, a_{pp} y la alteración de proa, a_{pr} .



$$a_{pp} = X_F \cdot \operatorname{tg}(\theta)$$

$$a_{pr} = (LWL - XF) \cdot tg(\theta)$$

En función de la posición longitudinal del peso P' respecto al centro de gravedad inicial, las alteraciones serán positivas o negativas. a_{pp} es positivo si el peso está a popa del centro de gravedad y a_{pr} es positivo si el peso está a proa del centro de gravedad y viceversa.

$$C_{pp} = Cm \pm a_{pp}$$

$$C_{pr} = Cm \pm a_{pr}$$

Cálculo del francobordo:

Se distingue el francobordo inicial y final, F_0 y F_f respectivamente.

$$F_0 = D - Cm$$

La variación es la inmersión que sufre un costado de la embarcación tras una escora.

$$Variación = tg(\alpha) \cdot b_{máx}$$

Donde:

$b_{máx}$: es la semimanga máxima

$$F_f = F_0 - Variación$$

NOTA: Para el cálculo de la altura del desagüe con respecto a la superficie del agua, h :

$$h = H - C_{pp}$$

donde:

H: es la distancia desde la quilla o línea base hasta el desagüe.

Resultados

Se muestran los resultados obtenidos para el ensayo 6.3.2.6 con 6 tripulantes.

Datos		
Dm	0,299	m
LWL	4,933	m
Vc	0,841	m ³
Aw	5,652	m ²
X_F	2,004	m
YG'	0,205	m

	Pesos (kg)	Situación CDG			Traslado, respecto CG0		
		X	Y	Z	X	Y	Z
Rosca	410,55	1,4	0,05	0,71	0,479	0,059	0,195
Capitan	75	0,709	0,658	1,071	-0,691	0,608	0,361
Puntual 2	75	1,716	0,612	1,079	0,316	0,562	0,369
Puntual 3	75	2,729	0,512	1,089	1,329	0,462	0,379
Puntual 4	75	3,727	0,256	1,148	2,327	0,206	0,438
Puntual 5	75	3,018	-0,476	1,092	1,618	-0,526	0,382
Puntual 6	75	2	-0,58	1,083	0,6	-0,63	0,373

TOTAL	860,55	1,879	0,109	0,905			
P'	450	2,317	0,164	1,082	0,917	0,114	0,372

s				Longitudinal moment of inertia			Transverse moment of inertia		
0,4933	nº	b	X	Ordinate	SM	Product	Ordinate	SM	Product
Ppp	0	0,747	0	0	1	0,00	0,417	1	0,416833
	1	0,748	0,4933	0,18	4	0,73	0,419	4	1,674036
	2	0,746	0,9866	0,73	2	1,45	0,415	2	0,830322
	3	0,741	1,4799	1,62	4	6,49	0,407	4	1,627476
	4	0,727	1,9732	2,83	2	5,66	0,384	2	0,768481
	5	0,698	2,4665	4,25	4	16,99	0,340	4	1,360274
	6	0,635	2,9598	5,56	2	11,13	0,256	2	0,512096
	7	0,531	3,4531	6,33	4	25,33	0,150	4	0,598885
	8	0,387	3,9464	6,03	2	12,05	0,058	2	0,115921
	9	0,209	4,4397	4,12	4	16,48	0,009	4	0,036517
Ppr	10	0	4,933	0	1	0,00	0,000	1	0
				Σ	96,30		Σ	7,941	
				I_{LFP}	31,671 m ⁴		A	1,306 m ⁴	
				I_L	8,972 m ⁴		X_{LCB}	1,553 m	
				BM_L	10,669 m		I_T	0,870 m ⁴	
				BG	0,700 m		BM	1,035 m	
				GM_L	9,969 m		GM	0,335 m	
				θ	0,048 rad		GG'	0,0594 m	
				θ	2,754 °		tg(α)	0,17721	
				a	0,096 m			10,05 °	
				C_{pp}	0,203 m		Freeboard 1	0,769 m	
							Variación	0,133 m	
							Freeboard 2	0,636 m	

Anexo I: Imágenes renderizadas del diseño

Imagen 1



Imagen 2

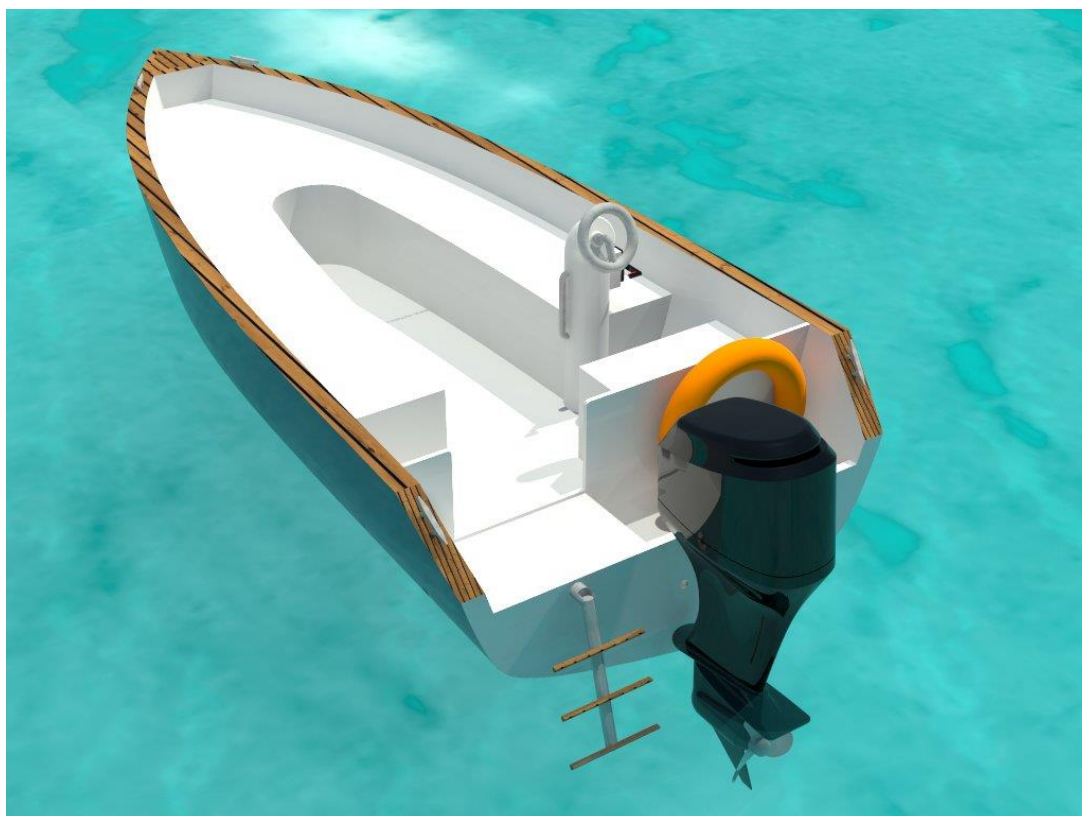


Imagen 3

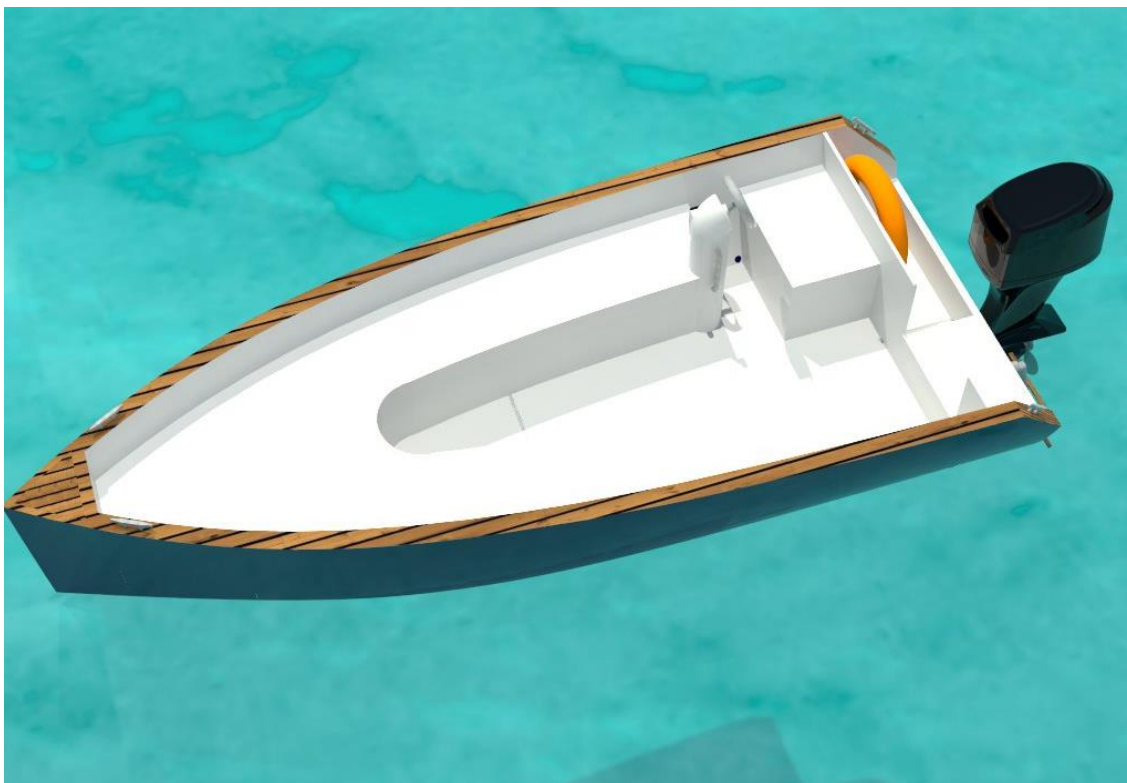


Imagen 4

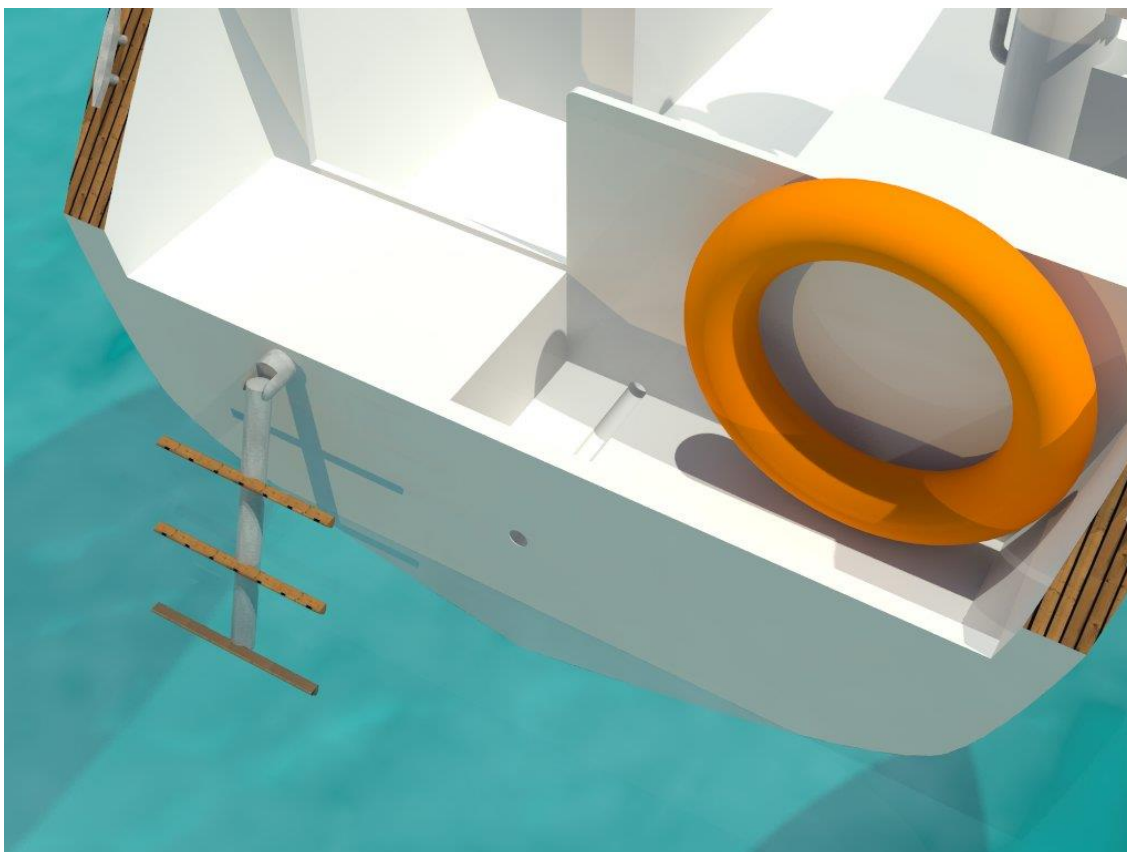


Imagen 5

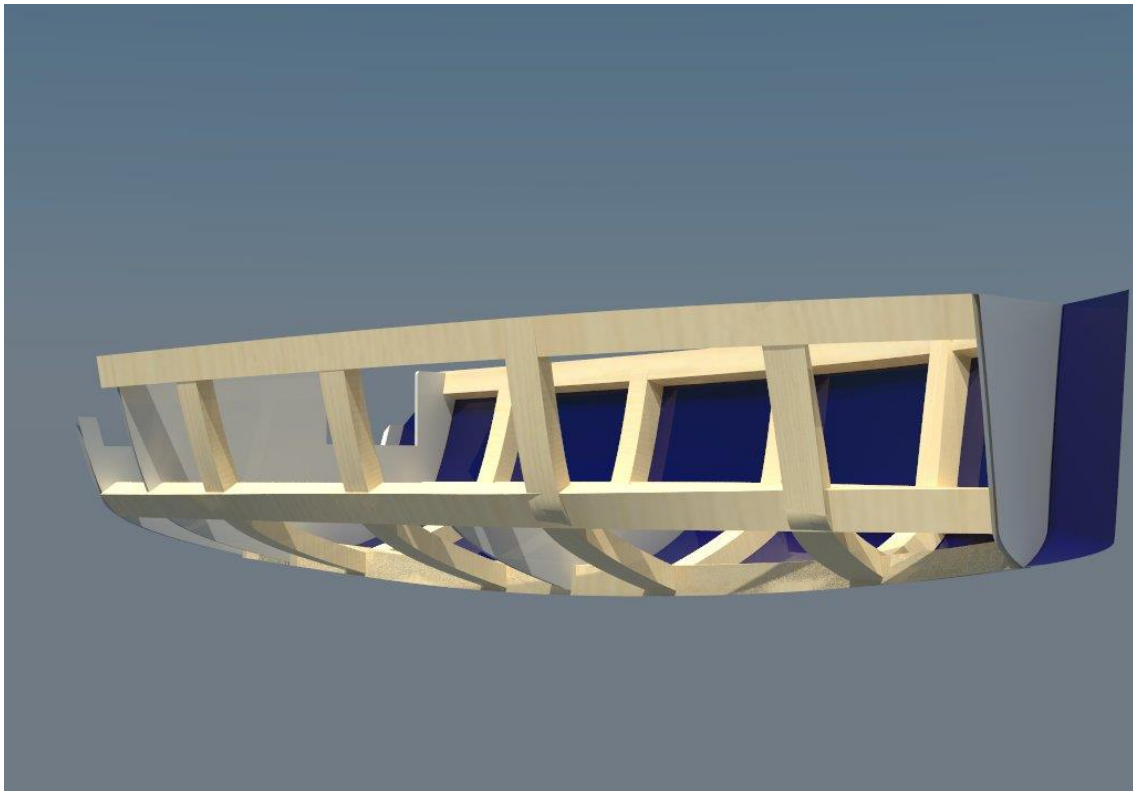


Imagen 6

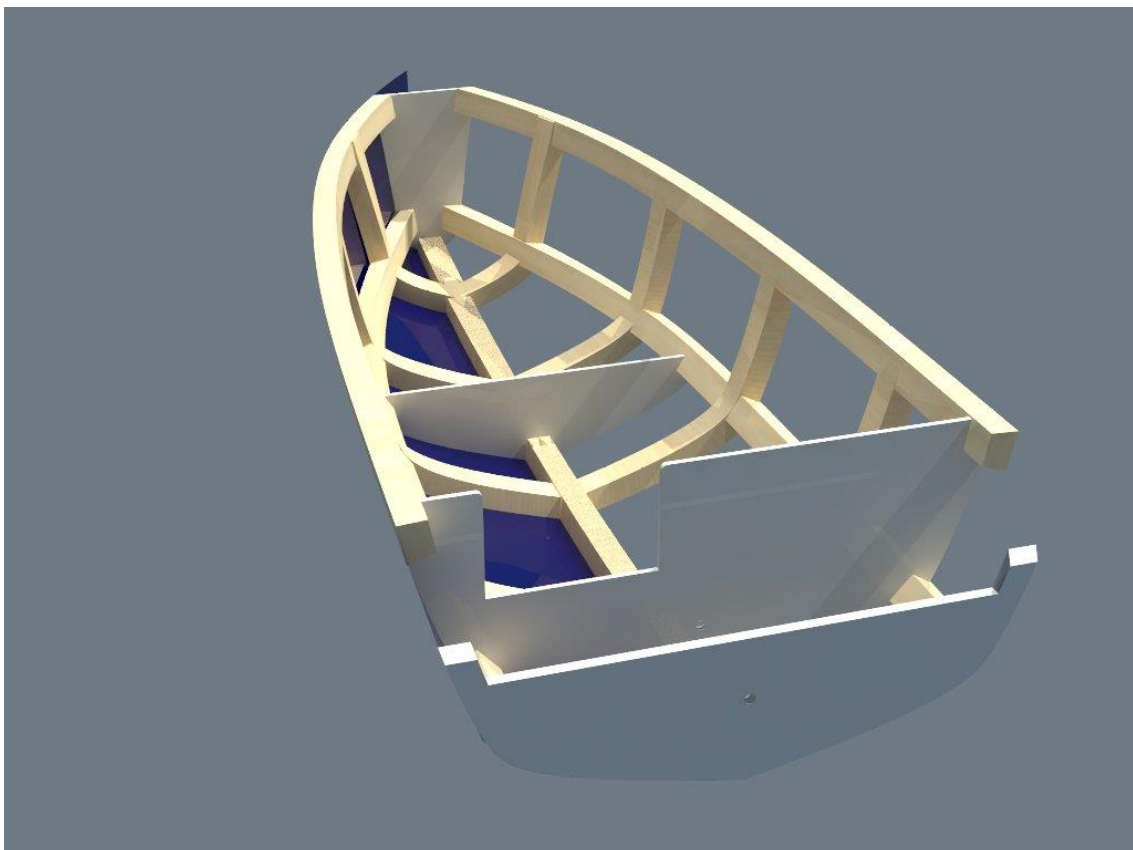


Imagen 7

